

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Martina Klepić

UTJECAJ TERMIČKE OBRADJE NA KEMIJSKI SASTAV
VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

DIPLOMSKI RAD

Osijek, listopad, 2015.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju
Katedra za kemiju i ekologiju
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Procesno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Nastavni predmet: Upravljanje kakvoćom vode i procesi obrade vode

Tema rada je prihvaćena na X. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2014./2015. održanoj 14. srpnja 2015..

Mentor: doc. dr. sc. *Mirna Habuda- Stanić*

Pomoć pri izradi: Andrea Gross-Bošković, dipl. ing.

Utjecaj termičke obrade na kemijski sastav vode za ljudsku potrošnju

Martina Klepić, 256-DI

Sažetak:

Ovim radom praćena je promjena kemijskog sastava vode prije i nakon termičke obrade. U teorijskom dijelu rada opisan je uobičajeni kemijski sastav vode, utjecaj pojedinog kemijskog elementa na zdravlje čovjeka te problematika samog projekta „Utjecaj kakvoće vode za ljudsku potrošnju na nutritivnu vrijednost dojenačkih mliječnih pripravaka“ Hrvatske agencije za hranu u sklopu kojeg je tema diplomskog rada obrađena. U drugom dijelu rada opisan je postupak uzorkovanja, provedba analiza te rasprava o dobivenim rezultatima.

Uzorci vode za ljudsku potrošnju uzorkovani su iz vodoopskrbnih sustava gradova sjedišta dvadeset hrvatskih županija i grada Zagreba te testirani na petnaest parametara. Pri analizi korištene su standardizirane i akreditirane metode; ionske kromatografije i induktivno spregnute plazme – optička emisijska spektrometrija (ICP-OES), a udjeli pojedinih kemijskih parametara prije i nakon termičke obrade vode grafički su prikazani uz pojašnjenje uočenih promjena u zabilježenim vrijednostima i objašnjenje očekivanog ponašanja te broj odstupanja.

Ključne riječi: termička obrada, kemijski sastav, voda za ljudsku potrošnju

Rad sadrži: 56 stranica
15 slika
17 tablica
1 priloga
20 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | | |
|----|---|---------------|
| 1. | doc. dr. sc. <i>Dajana Gašo-Sokač</i> | predsjednik |
| 2. | doc. dr. sc. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> | član-mentor |
| 3. | doc. dr. sc. <i>Maja Molnar</i> | član |
| 4. | doc. dr. sc. <i>Natalija Velić</i> | zamjena člana |

Datum obrane: 19. listopada 2015.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Applied Chemistry and Ecology
Subdepartment of Chemistry and Ecology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Process Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Water quality management and water treatment processes

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. X held on July 14, 2015.

Mentor: *Mirna Habuda-Stanić*, PhD, Assistant Professor

Technical assistance: *Andrea Gross-Bošković*, BSc

The effect of boiling onto chemical composition of drinking water

Martina Klepić, 256-DI

Summary:

In this work changes in chemical composition of water before and after boiling were observed. Descriptions of typical chemical composition of water, the health effects of chemicals and issue of the Croatian Food Agency's project „The impact of drinking water quality to the nutritional value of infant dairy preparations“, as part of which this thesis was made, are given in the theoretical part of the work. While in the second part of the work it is given a description of the sampling procedure, implementation of analysis and the results discussion. The samples of drinking water were taken from water supply systems of twenty cities, which are county seats, and city of Zagreb, in order to be tested on fifteen parameters. Throughout the analysis standardized and accredited methods of ion chromatography and inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES) were used. Shares of specific chemical parameters before and after thermal treatment of water are graphically displayed along with the explanation of the observed changes in the recorded values, brief description of expected behaviour and number of result deviations.

Key words: Thermal treatment, chemical composition, drinking water, project

Thesis contains: 56 pages
15 figures
17 tables
1 supplements
20 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. <i>Dajana Gašo-Sokač</i> , PhD, Assistant Professor | chair person |
| 2. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> , PhD, Assistant Professor | supervisor |
| 3. <i>Maja Molnar</i> , PhD, Assistant Professor | member |
| 4. <i>Natalija Velić</i> , PhD, Assistant Professor | stand-in |

Defense date: October 19th, 2015

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

*Zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Mirni Habudi-Stanić
na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog
rada.*

*Posebno se želim zahvaliti svojoj obitelji na moralnoj podršci i
povjerenju koje su mi ukazali za vrijeme studiranja.*

Veliko hvala mom dečku na podršci i strpljenju.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. KEMIJSKI SASTAV VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU	4
2.1.1. Utjecaj pojedinih kemijskih parametara na zdravlje čovjeka	4
2.1.2. Anorganske tvari u vodi za piće	5
2.1.3. Organski spojevi.....	9
2.1.4. Dezinficijensi i nusprodukti dezinfekcije.....	11
2.1.5. Organski nusproizvodi dezinfekcije	12
2.2. PROJEKT HRVATSKE AGENCIJE ZA HRANU	14
2.2.1. Opis problema	14
2.2.2. Cilj i provedba projekta.....	14
2.2.3. Svrha projekta.....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. ZADATAK	18
3.2. MATERIJALI I METODE	18
3.2.1. Metoda ionske kromatografije	19
3.2.2. Metoda induktivno spregnute plazme-optičko emisijske spektrometrije (ICP-OES).....	19
4. REZULTATI I RASPRAVA	21
4.1. FLUORIDI	22
4.2. KLORIDI	24
4.3. NITRATI	26
4.4. SULFATI	28
4.5. FOSFATI.....	30
4.6. JODIDI.....	32
4.7. NATRIJ	33
4.8. KALCIJ I MAGNEZIJ.....	36
4.9. KALIJ.....	39
4.10. ŽELJEZO I MANGAN.....	41
4.11. CINK	44
4.12. BAKAR	46
4.13. SELEN	48
5. ZAKLJUČCI	50
6. LITERATURA	52
7. PRILOZI.....	55

Popis oznaka, kratica i simbola

PTF	Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
HAH	Hrvatska agencija za hranu
MZ	Ministarstvo zdravlja Republike Hrvatske
MDK	Maksimalna dopuštena koncentracija
ICP-OES	Induktivno spregnuta plazma-optičko emisijske spektrometrije
EU	Europska Unija
HS	Hrvatski sabor
EV	Vijeće Europske Unije
t.o.	Termička obrada

1. UVOD

Voda je tekućina života, osnovni preduvjet života, nastanka i razvoja civilizacije i predstavlja vrijednost nemjerljivu materijalnim dobrima.

Voda za ljudsku potrošnju posjeduje određene fizikalno-kemijske karakteristike koje moraju biti u skladu s odredbama Zakona o hrani (NN 46/2007, 84/2008, 55/2011), Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/2013), odnosno Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013). Navedeni Pravilnik definira parametre zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološke i kemijske), indikatorske parametre te njihove maksimalno dopuštene koncentracije. Iako voda za ljudsku potrošnju mora udovoljavati odredbama navedenog Pravilnika, njene fizikalno-kemijske karakteristike, a naročito udio pojedinih kationa i aniona, najčešće ovise o porijeklu, načinu prerade i temperaturi vode.

Na području Republike Hrvatske voda za ljudsku potrošnju trenutno se distribuira potrošačima putem približno 150 komunalnih poduzeća i više od 400 manjih lokalnih vodoopskrbnih sustava, od kojih pojedini sirovu vodu zahvaćaju na više različitih crpilišta.

Prokuhavanje vode, odnosno termička obrada, desetljećima je poznata metoda dezinfekcije vode kojom se uklanjaju mikroorganizmi iz vode, no malo je podataka koliko zagrijavanje vode utječe na kemijski sastav vode. Kakvoća vode za ljudsku potrošnju ovisi o njenom porijeklu i načinu prerade. U ovom radu uzorkovanjem vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava županijskih središta u Hrvatskoj te njenom termičkom obradom prikazan je utjecaj primjene povišene temperature na kemijski sastav vode i konačni udio pojedinih nutrijenata u vodi za ljudsku potrošnju.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. KEMIJSKI SASTAV VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

Voda je osnova ljudskog života, ona je multifunkcionalni resurs, prirodno i gospodarsko dobro, živežna namirnica, izvor i prenositelj energije. To su samo neke od karakteristika koje ju čine neophodnom za život. Kako bi voda bila zdravstveno ispravna za ljudsku potrošnju i odgovarala Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013), Zakonu o hrani (NN 46/2007, 84/2008, 55/2011) te Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/2013) potrebno je kontrolirati njenu kakvoću te kemijski i mikrobiološki sastav jer narušavanje kakvoće vode u smislu navedenih parametara može kratkotrajno, u vidu akutnih bolesti, ili dugotrajno, u vidu kroničnih oboljenja, imati štetan utjecaj na ljudsko zdravlje.

2.1.1. Utjecaj pojedinih kemijskih parametara na zdravlje čovjeka

Svaki kemijski element ili kemijski spoj, ovisno o koncentraciji, utječe na organizam koji mu je izložen pri čemu pojedini imaju štetno djelovanje na zdravlje čovjeka. Izloženost pojedinom kemijskom elementu može biti akutna, ukoliko štetne posljedice na zdravlje nastupe unutar 24 do 48 sati nakon izlaganja, ili kronična, pri čemu se štetne posljedice javljaju nakon dužeg vremena izloženosti. Štetni utjecaji mogu biti reverzibilne ili ireverzibilne prirode, ovisno o karakteristikama određenog kemijskog spoja, jačini utjecaja te pogođenom organu.

Učinak koji nastaje uslijed izloženosti kemijskom elementu ili spoju ovisi i o dozi te o razini izloženosti. Što je veća doza, učinak je najčešće izraženiji. Ovo možemo nazvati veza doza-odgovor. Poznavanje i razumijevanje ovog koncepta/veze važno je kako bi se procijenio rizik za čovjekovo zdravlje. Također, veza doza-odgovor razlikuje se kod fetusa, djece te kod odraslih. Tijela u razvoju mogu biti jače pogođena jer ključni enzimi u određenim tkivima mogu biti u povišenoj koncentraciji, a dokazano je da trudnice i djeca pojedine polutante lakše apsorbiraju i u iznadprosječnim količinama. Kod starijih ljudi sposobnost da metaboliziraju neke toksične kemikalije može biti smanjena.

Štetni učinak kemijskog elementa ili spoja na ljudski organizam može biti:

- toksičan - uzrokuje značajan poremećaj u funkcioniranju biološkog sustava ili uzrokuje smrt;
- karcinogen - uzrokuje nekontrolirani rast i bujanje tumorskih stanica ili uzrokuje promjene u strukturi DNA molekula;

- genotoksičan – oštećuje genetski materijal (kromosome);
- mutagen - uzrokuje promjene u genetskom kodu stanice što mijenja njezina biokemijska svojstva;
- teratogen - uzrokuje nenasljedne malformacije ploda (American Water Works Association, 1999).

2.1.2. Anorganske tvari u vodi za piće

Anorganske tvari mogu biti prirodno prisutne u vodama ili njihova pojava u vodama može biti posljedica antropoloških djelovanja te kontakta vode s materijalima od kojih su izrađene vodovodne cijevi. Anorganske tvari koje se nađu u pitkoj vodi mogu uzrokovati brojne zdravstvene probleme. Za neke, kao što su arsen, olovo ili kadmij, sumnja se ili su dokazani karcinogeni. Važno je naglasiti da je velik broj anorganskih tvari u malim količinama neophodan za ljudsko zdravlje, no u velikim količinama mogu imati izrazito toksična djelovanja. Primjer anorganskih polutanata su krom, bakar, mangan, molibden, nikal, selenij, cink i natrij. Natrij i barij, dvije su anorganske tvari koje se povezuju sa visokim krvnim tlakom. Također, brojna istraživanja pokazala su inverzni odnos između tvrdoće vode i hipertenzivne bolesti srca (American Water Works Association, 1999).

Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013) propisani su parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski), indikatorski parametri vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski) te njihova maksimalno dopuštena koncentracija (MDK) u vodi za piće. U ove dvije skupine uvrštene su i neke od spomenutih anorganskih tvari, a prikaz im je dan u **Tablici 1** i **Tablici 2**.

2.1.2.1 Bakar

Bakar može biti prirodno prisutan u vodi za piće. Niske koncentracije (obično ispod 20 µg/L) mogu biti rezultat trošenja stijena ili industrijskog onečišćenja, no primarni izvori bakra u vodi su korozija cijevi od bakra i mjedi, kao i soli bakra koje se koriste u obradi vode za kontrolu rasta algi. Bakar je i neophodan za metabolizam čovjeka. Naime, deficit bakra može dovesti do anemije, koštanih deformacija, reproduktivnih anomalija te oštećenja živčanog sustava. Sigurne i preporučene dnevne doze bakra su 1,5 do 3 mg/dan, a viškove stanice jetre putem žuči izlučuju iz organizma. Ipak, ako je prisutan u velikim količinama, bakar može uzrokovati akutne posljedice kao što su želučane smetnje, anemije,

oštećenje jetre i bubrega (American Water Works Association, 1999).

2.1.2.2 Fluoridi

Fluor je element iz halogene skupine, izuzetno je otrovan, a ujedno i najelektronegativniji i najreaktivniji kemijski element. Upravo zbog ovakvih karakteristika, u prirodi ne dolazi kao samostalni element nego je prisutan u obliku organskih i anorganskih spojeva poznatih pod nazivom fluoridi. Fluoridi zajedno čine 0,06-0,09% zemljine kore, što fluor čini 13. najzastupljenijim elementom u njenom sastavu. U značajnim količinama nalaze se i u raznim mineralima, termalnim vodama, a pojava fluorida u vodama povezuju se i s vulkanskom aktivnošću. Fluoridi su prirodno prisutni u svim vodama, no njihove koncentracije ovise o geološkim svojstvima tla te prisutnosti kalcija u vodonosniku. I dok će tla bogata fluoridima povećati njihove količine u vodi, prisutnost kalcija u vodonosniku ograničava njihovu topljivost u vodi i time im se smanjuju koncentracije. Morska voda obično sadržava 1 mg/L fluorida, dok rijeke i jezera manje od 0,5 mg/L. Koncentracije fluorida u pitkoj vodi potrebno je strogo kontrolirati. Naime, u malim količinama fluoridi pomažu u prevenciji karijesa te jačanju otpornosti zuba na kiseline, no u velikim količinama mogu izazvati negativan utjecaj na zdravlje čovjeka, od ometanja rada štitne žlijezde, glavobolja, vrtoglavica, mučnine, propadanja zubi do raka pluća i kostiju, kao i brojne druge bolesti (American Water Works Association, 1999; Fawell i suradnici, 2006).

2.1.2.3 Željezo

Željezo se u prirodnim vodama nalazi u četiri oblika Fe(II), Fe(III), organski vezano i u obliku željeznih bakterija. Divalentno željezo ne daje boju vodi, ali u kontaktu s kisikom iz zraka brzo oksidira i prelazi u trovalentni Fe(III) hidroksid, odnosno oksid koji je karakteristične tamnocrvene boje. Bezopasne željezne bakterije mogu se pronaći u zemljištu, podzemnoj vodi i, u manjem broju slučajeva, u površinskim vodama. Iako su bezopasne za zdravlje, mogu vodi dati karakterističnu boju i okus, izazvati žute naslage na rublju ili začepljenje vodovodnih cijevi. Željezne bakterije obično se manifestiraju kao smeđe, crvene ili bijele ljepljive, sluzave supstance suspendirane u vodi. Bakterijske kolonije se razvijaju i razmnožavaju na metalnim dijelovima vodovodnog sistema i vrlo se lako uočavaju. Ove bakterije mogu poslužiti za rast drugih bakterija, pa može doći i do masovnog bakterijskog zagađenja u čitavoj vodovodnoj mreži. Pojava povećanih koncentracija mikroorganizama u vodi vodoopskrbnih sustava uzrokuje i pojava hrđe na željeznim i čeličnim cijevima pri čemu

se može pojaviti crveno-smeđe obojenje vode, a okus joj učiniti neugodnim i metalnim. Kao i drugi elementi, u manjim količinama željezo je također esencijalno za zdravlje čovjeka i to 10 do 12 mg/dan za muškarce, te 10 do 15 mg/dan za žene. Jedna od najpoznatijih korisnih uloga željeza u ljudskom zdravlju je formiranje proteina hemoglobina, koji transportira kisik do svih stanica u tijelu. Deficit željeza u tijelu može dovesti do anemije, umora, ali i tijelo učiniti podložnijim infekcijama. Premda su vjerojatnosti za uzrokovanjem ozbiljnijih zdravstvenih problema male, akumuliranje u organizmu može dovesti do disfunkcije srca, jetre i gušterače (American Water Works Association 1999; Kukučka, 2013).

2.1.2.4 Mangan

Mangan je sveprisutan u okolišu. U prirodnim vodama mangan se nalazi u dvovalentnom obliku, a prilikom oksidacije do četverovalentnog oblika, mangan oksidira tvoreći smeđe-crne taloge i naslage. Najčešće se mangan nalazi u vodama koje sadrže željezo. Mangan sadržan u vodi, zajedno sa željezom, može u vodovodnoj mreži izazvati razmnožavanje mikroorganizama tipa *Crenothrix*, *Leptotrix*, *Thiobacillus*, i drugih koji su sposobni da energiju za život dobivaju oksidacijom mangana i željeza. Ljudske aktivnosti, kao što su proizvodnja legura čelika, poljoprivrednih proizvoda kao i nepravilno odlaganje baterija također povećavaju količine mangana u vodi. No, on je i esencijalan nutrijent koji ima važnu katalitičku ulogu u raznim staničnim enzimima. Za odrasle osobe preporučena i sigurna dnevna doza mangana je 2 do 5 mg/dan, dok za djecu ona iznosi 0,3 do 0,6 mg/dan. Općenito se smatra da je mangan netoksičan i prirodno prisutan element, a iz bunarske vode se uklanja isključivo iz estetskih razloga. Ipak, kako je već duže poznato, dugotrajna izloženost može dovesti do oštećenja živčanog sustava (American Water Works Association, 1999; Kukučka 2013).

2.1.2.5 Selen

Selen je mineral koji je neophodan našem organizmu, a najveći unos dolazi putem hrane. Kroz svakodnevnu prehranu trebalo bi unijeti između 55 i 75 µg selena, gdje se viša doza odnosi na odrasle muškarce te trudnice i dojilje. Selen je i ključna komponenta glutation peroksidaze, enzima štitnjače. Ipak, dugotrajno konzumiranje hrane s visokim udjelom selena može dovesti do umora, dermatitisa, gubitka kose, deformacije i gubitka noktiju, oštećenja perifernog živčanog sustava, degeneracije jetre i slično (American Water Works Association, 1999).

2.1.2.6 *Natrij*

Natrij je prirodni sastojak voda. Količine natrija u vodi mogu povećati tvari dodane u cilju mekšavanja vode, gdje se za svaka 2 mg uklonjene tvrdoće razina natrija poveća za 1 mg. Veće količine natrija u vodi mogu štetiti jedino osobama s visokim krvnim tlakom pri čemu može doći do bolesti srca, srčanog udara i sličnih bolesti. Najznačajniji izvor natrija i dalje je hrana. Preporučan maksimalan dnevni unos natrija iznosi 2400 mg, od čega voda čini udio od tek 2%. Prosječan dnevni unos odrasle osobe kreće se u vrijednosti oko 10000 mg/dan, dok kod osoba kojima se ne preporuča visoki unos soli, ove vrijednosti se kreću oko 500 mg/dan (American Water Works Association, 1999).

2.1.2.7 *Sulfat*

Premda je sulfatni anion prisutan u sastavu vode za ljudsku potrošnju, velike koncentracije mogu uzrokovati probavne smetnje, abdominalne bolove i glavobolju. Kod odraslih koncentracije sulfata u vodi za piće iznad 1000 mg/L može uzrokovati laksativni učinak, a kod dojenčadi hranjene na bočicu laksativni učinak se može pojaviti pri koncentraciji od 600 mg/L. Akutna dijareja može dovesti do dehidracije, posebno kod dojenčadi i mlađe djece. No, u područjima sa pitkom vodom karakteriziranom visokim koncentracijama sulfata, odrasli se vrlo lako prilagode na iste te nemaju nikakvih zdravstvenih poteškoća (American Water Works Association, 1999).

2.1.2.8 *Cink*

Cink je prirodno prisutan u malim koncentracijama u mnogim stjenama i tlima, najčešće kao ruda sulfida, a u manjoj mjeri kao karbonati. U prirodnim površinskim vodama koncentracija cinka je ispod 10 µg/L, a u podzemnim vodama 10-40 µg/L. U vodovodnoj vodi koncentracije cinka mogu biti puno veće što je rezultat ispiranja cinka iz cjevovoda i armature. Cink je neophodan za normalno funkcioniranje ljudskog organizma. Kod odraslih, preporučene dnevne doze unosa cinka iznose su 15 mg/dan za muškarce i 12 mg/dan za žene. Pri unosu navedenih doza cinka, voda sudjeluje sa tek 1 do najviše 10%. Dugotrajnija izloženost količinama od oko 40 mg/L može uzrokovati slabost i bol u mišićima, razdražljivost i mučninu, a može i poremetiti apsorpciju metala u tragovima (npr. bakar i željezo) (American Water Works Association, 1999).

2.1.2.9 Nitrati i nitriti

Nitrati su jedna od najvećih skupina aniona u prirodnim vodama. Koncentracije mogu biti značajno povećane zbog ispiranja dušika iz gnojiva s farmi, stočne hrane, ili septičkih jama. Prosječna koncentracija nitrarnog dušika u vodi kreće se između 0,2 i 2 mg/L, premda bunarska voda može imati puno veće koncentracije. Putem hrane, odrasle osobe dnevno unesu otprilike 20 mg dušika, gdje glavina dolazi iz povrća (zelena salata, celer, špinat i repa). Prirodno prisutnih nitrita obično nema u većim količinama u vodama, osim pri reduktivnim uvjetima. Također, pojavu povećanih koncentracija nitrata može uzrokovati i povećana koncentracija amonijaka u vodi, ukoliko je ista tretirana s permanganatom. Nitriti i nitrati u tijelu konvertirani u nitrite što uzrokuje dvije kemijske reakcije koje mogu imati štetan učinak za zdravlje: indukciju methemoglobinemije (posebno kod dojenčadi stare manje od godinu dana) i stvaranje karcinogenih nitrozamina i nitrozamida. Methemoglobin je oksidirani oblik hemoglobina i kao takav ne može biti nosač kisika u krvi, a normalna razina u krvi mu je između 1 i 3%. Do formiranja nitrita dolazi reakcijom nitrata sa slinom, no kod dojenčadi ispod godinu dana starosti, alkalni uvjeti u želucu omogućuju formiranje nitrita. Kod dojenčadi je tako sav nitrat reduciran u nitrit, dok kod odraslih i djece starije od godinu dana vrijednost reduciranih nitrata svega 10%. Također, za razliku od odraslih dojenčad nema sposobnost povratne reakcije prevođenja methemoglobina u hemoglobin. Zbog toga, ako koncentracije methemoglobina dosegnu vrijednosti od 5 do 10%, mogu se javiti plavkasta boja kože, tromost i otežano disanje, dok jako visoke koncentracije mogu dovesti i do smrti (American Water Works Association, 1999).

2.1.3. Organski spojevi

Organski spojevi u vodi rezultat su:

- raspadanja prirodno prisutnih organskih materijala;
- ljudske aktivnosti;
- reakcija koje se događaju za vrijeme obrade i transporta vode.

Primarni izvor organskih tvari u vodama su humusne tvari biljaka i algi, mikroorganizmi i njihovi metaboliti te alifatski i aromatski ugljikovodici visoke molekularne mase. Neke od alifatskih i aromatskih ugljikovodika mogu imati štetan učinak na zdravlje čovjeka, dok su humusne tvari prekursori u nastanku trihalometana (THMs) tijekom dezinfekcije vode preparatima klora, ali i drugih organohalogenih oksidacijskih produkata.

Ljudske aktivnosti (domaćinstvo, industrija) doprinose povećanju koncentracije sintetičkih organskih spojeva u otpadnoj vodi. Većina organskih spojeva, za koje je utvrđen štetan učinak na zdravlje čovjeka, svrstavaju se upravo u ovu grupu. Tu spadaju pesticidi, otapala, odmašćivači metala, kao i nekad široko rasprostranjeni poliklorirani bifenili. Organski zagađivači nastali tijekom dezinfekcije vode su nusproizvodi, trihalometani i halooctena kiselina. Nadalje, tijekom transporta vode iz cijevi, obloga u vodu dopijevaju neželjeni spojevi kao što su polinuklearni aromatski ugljikovodici, otapala itd. Glavnina sintetičkih organskih spojeva su pesticidi, ali i policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenoli. I dok su koncentracije organskih spojeva prirodno prisutnih u vodi mjerene u mg/L, koncentracije onih nastalih kao posljedica ljudske aktivnosti obično su u $\mu\text{g/L}$ ili u ng/L . Praćenje količine organskih tvari u vodi provodi se mjerenjem ukupnog organskog ugljika. Ova mjerenja su važna i zato što su u korelaciji s količinom nastalih nusproizvoda dezinfekcije. Uz mjerenje ukupnog organskog ugljika, rade se i mjerenja ukupnih organskih halogena jer su brojni potencijalno opasni organski spojevi halogenirani. Također, s ekonomskog i praktičnog aspekta puno je jednostavnije pratiti koncentracije organskih tvari preko ova dva mjerenja nego li mjerenjem svake od komponenti pojedinačno. Uz to, ovim je olakšana identifikacija izvora onečišćenja, ali i određivanje potrebe za dodatnim analizama (American Water Works Association, 1999).

2.1.3.1 Hlapive organske komponente

Naziv ove skupine, hlapive organske komponente, govori o njihovoj sposobnosti evaporacije čak i kada su otopljene u vodi. Stupanj hlapivosti opada s porastom ionske polarnosti samog spoja. Pitka voda sadrži tri velike skupine hlapivih organskih komponenti. Prva skupina uključuje spojeve koji su u sastavu naftnih derivata, ponajviše aromati poput benzena, toluena i ksilena. Time su njihovi izvori upravo istjecanja iz tankova s naftom i benzinom. Druga grupa su halogenirani hlapivi organski spojevi koji se koriste kao otapala i odmašćivači, dok u treću skupinu spadaju neki od kloriranih organskih nusproizvoda dezinfekcije i to ponajviše trihalometani. Dugoročna izloženost velikim koncentracijama ovih spojeva može dovesti do oštećenja mozga te oštećenja i poremećaja u radu bubrega i jetre.

2.1.3.2 Pesticidi

Pesticidi su velika skupina kemijskih tvari koja obuhvaća insekticide, herbicide i fungicide. Različito su topljivi u vodi, a mnogi se čvrsto vežu na organske tvari u zemlji čime se usporava

njihovo prodiranje u podzemnu vodu. Mnogi su klorirani čime je povećana njihova učinkovitost u poljoprivrednoj, ali i drugim oblicima upotrebe. Ukoliko dođe do slučajnih izlivanja u okoliš, ili su bunari smješteni u blizini farmi, voćnjaka, golfskih igrališta, pesticidi mogu doseći razinu u vodi kada postaju velika prijetnja ljudskom zdravlju. Ipak, hrana i dalje glavni put unosa pesticida u organizam čovjeka. Koncentracije pesticida, poput herbicida 2,4,5-TP; insekticida za fumigaciju (dibrom-klor-propan; 1,2-diklor-propan; etilen dibromid) i većina organokloriranih insekticida, u okolišu su raznim uvedenim restrikcijama značajno smanjene. Ovisno o vrsti i koncentraciji, utjecaj pesticida na ljudsko zdravlje varira. Pri dugoročnom izlaganju velikim količinama mogu nastupiti oštećenja jetre i bubrega, poremećaji u živčanom, imunološkom i reproduktivnom sustavu, oštećenja ploda, a povećan je i rizik od pojave karcinoma. Pri izloženosti organizma nižim koncentracijama javljaju se oštećenja ploda, manji poremećaji u imunološkom i živčanom sustavu (simptomi poput vrtoglavica, mučnine, umora), a ujedno se povećava i rizik pojave karcinoma (American Water Works Association, 1999).

2.1.4. Dezinficijensi i nusprodukti dezinfekcije

Jedan od prvih korištenih dezinficijensa bio je klor. Danas su u upotrebi i drugi poput klor-dioksida, kloramina i ozona, a dezinfekcijska svojstva pokazuju i natrijev permanganat, jod, brom, srebro, vodikov peroksid te UV zrake. Od svih navedenih, natrijev permanganat se koristi u ograničenom opsegu, jod i brom dosta rijetko, dok su ostali još manje u upotrebi. Premda upotreba dezinficijensa smanjuje rizik od pojave hidričnih bolesti koje se prenose vodom, tijekom samog procesa dezinfekcije može doći do nastajanja nusprodukata koji mogu imati štetan učinak na zdravlje čovjeka. Postoji veliki broj nusproizvoda dezinfekcije, a mnogi, ako su zastupljeni u vodi u većim koncentracijama, izazivaju pojavu karcinoma kao i druga teška oboljenja (American Water Works Association, 1999).

2.1.4.1 Klor

Pri sobnoj temperaturi klor je otrovni zeleno-žuti plin. Dodavanjem klora u vodu dolazi do reakcije nastanka hipokloritne kiseline koja se zatim ionizira u hipokloritni ion. Oksidacijske karakteristike i topljivost klora i hipoklorita su te koje omogućuju njihovu primjenu u dezinfekciji vode za ljudsku potrošnju, otpadne vode, bazena, kao i drugih vodenih spremnika. Količine formiranih hipokloritne kiseline i hipokloritnih iona ovise o pH i

temperaturi. Nadalje, kako bi se minimalizirao rast bakterija, vrlo je važno zadržati određene količine klora, svojevrsne ostatke, i kroz čitav transportni sustav isto tako u suprotnom slučaju (ako se ne zadrže ostatci) kako bi se mogli ustanoviti problemi kvalitete vode u transportnom sustavu (American Water Works Association, 1999).

2.1.4.2 Jod

U vodi se jod pojavljuje u ioniziranoj obliku te kao hipojodasta kiselina, jodati ili jodidi. Jod se koristi za dezinfekciju kako vode za piće tako i bazena, a dobra dezinfekcijska svojstva pokazuje pri količini od već 1 mg/L. Također, on je esencijalni mikroelement koji je nužan za sintezu tiroidnog hormona. Preporučene dnevne doze za odraslu osobu kreću se od 80 do 150 µg/dan. Glavni izvor joda, kod čovjeka, i dalje je morska hrana i jodirana sol. Jod može uzrokovati iritacije gastrointestinalnog trakta što može dovesti do akutnog trovanja, dok koncentracije od 2 do 3 g mogu izazvati letalni učinak (American Water Works Association, 1999).

2.1.5. Organski nusproizvodi dezinfekcije

Upotreba oksidanata za dezinfekciju, uklanjanje nepoželjnog okusa, mirisa i boje te za povećanje koagulacije, dovodi do nastanka nepoželjnih organskih nusproizvoda. Za vrijeme kloriranja pitke vode, od nastalih organskih onečišćivača, u najvećim koncentracijama nastaju trihalometani i halooctena kiselina. Od ostalih onečišćivača nastaju i haloacetonitrili, haloetoni, haloaldehidi, klorofenoli i dr. Ostali dezinficijensi, kao što su kloramini, klor-dioksid i ozon, također uzrokuju nastanak organskih nusproizvoda sličnih onima nastalih kloriranjem, ali u manjim koncentracijama. Nadalje, prisutnost bromidnih iona za vrijeme kloriranja rezultira nusproizvodima s različitim stupnjem kloriranja i bromiranja. Koncentracija nusproizvoda ovisi o nekoliko faktora, a najvažniji su ukupna koncentracija organskog ugljika te vrsta i koncentracija dezinficijensa. Općenito koncentracije nusproizvoda su veće u površinskoj vodi nego u podzemnim vodama jer je koncentracija ukupnog organskog ugljika uvijek veća u površinskim vodama (American Water Work Association, 1999).

Tablica 1 Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju
(MZ, 2013)

Pokazatelj	Jedinice	MDK
Bakar	mg/L	2,0
Fluoridi	mg/L	1,5
Nitrati	mg/L	50
Nitriti	mg/L	0,50
Pesticidi	µg/L	0,10
Pesticidi ukupni	µg/L	0,50
Selen	µg/L	10

Tablica 2 Indikatorski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju
(MZ, 2013)

Pokazatelj	Jedinice	MDK	Napomena
Cink	µg/L	3000	
Fosfati	µg/L	300	
Kalcij	mg/L		1
Kalij	mg/L	12	
Kloridi	mg/L	250,0	
Magnezij	mg/L		1
Mangan	µg/L	50,0	
Ugljikovodici	µg/L	50,0	
Natrij	mg/L	200,0	
Sulfati	mg/L	250,0	
Željezo	µg/L	200,0	

Napomena 1 - Za tumačenje dobivenih rezultata koriste se preporuke Svjetske zdravstvene organizacije

2.2. PROJEKT HRVATSKE AGENCIJE ZA HRANU

Diplomski rad je izrađen u okviru projekta Hrvatske agencije za hranu (HAH) pod nazivom: „Utjecaj kakvoće vode za ljudsku potrošnju na nutritivnu vrijednost dojenačkih mliječnih pripravaka“.

2.2.1. Opis problema

Krajem 2011. godine, na zahtjev Ministarstva poljoprivrede, Hrvatska agencija za hranu načinila je procjenu o tome kako fizikalno-kemijske karakteristike mineralnih voda, označenih navodom „pogodna za pripremu hrane za dojenčad“, utječu na konačni sadržaj najznačajnijih nutrijenata u pripremljenim dojenačkim mliječnim pripravcima. Budući da je utvrđeno da je utjecaj značajan te da pojedini nutrijenti uvelike prekoračuju preporučene dnevne unose za obje dobne skupine dojenčadi (0-4 mjeseci i 4-12 mjeseci), uočena je potreba za proširivanjem istraživanja. Naime, u Republici Hrvatskoj za pripremu dojenačkih mliječnih pripravaka najviše se koristi voda za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava. Kako se sami sastav vode kao i njena kakvoća mijenjaju ovisno o porijeklu te samom načinu obrade, postavilo se pitanje kako će ona utjecati na konačni sadržaj pojedinih nutrijenata u pripremljenim dojenačkim mliječnim proizvodima (HAH, 2015).

2.2.2. Cilj i provedba projekta

Zadatak projekta bio je utvrditi utjecaj i doprinos termički obrađene vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava gradova sjedišta dvadeset hrvatskih županija i grada Zagreba na konačni udio pojedinih nutrijenata u pripremljenoj dojenačkoj hrani za dvije dobne skupine (0-4 mjeseca i od 4-12 mjeseci) prema D-A-CH preporukama.

Plan provedenog uzorkovanja vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava dvadeset županijskih središta u Republici Hrvatskoj i grada Zagreba, odnosno njihovih pojedinih vodoopskrbnih zona, vidljiv je u **Tablici 3**. Prikupljeni uzorci vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava analizirani su na petnaest parametara i to prije i nakon termičke obrade. Sama termička obrada uzoraka vode provedena je zagrijavanjem uzoraka 2 minute od početka ključanja te njihovim hlađenjem na sobnu temperaturu (HAH, 2015).

Tablica 3 Plan uzorkovanja vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava županijskih središta Republike Hrvatske (HAH, 2015)

Broj	Županija	Središte	Broj vodoopskrbnih zona	Broj uzoraka
1.	Zagrebačka//Grad Zagreb	Zagreb	7	7
2.	Krapinsko-zagorska	Krapina	1	1
3.	Sisačko-moslavačka	Sisak	1	1
4.	Karlovačka	Karlovac	1	1
5.	Varaždinska	Varaždin	4	4
6.	Koprivničko-križevačka	Koprivnica	1	1
7.	Bjelovarsko-bilogorska	Bjelovar	1	1
8.	Primorsko-goranska	Rijeka	4	4
9.	Ličko-senjska	Gospić	1	1
10.	Virovitičko-podravska	Virovitica	1	1
11.	Požeško-slavonska	Požega	1	1
12.	Brodsko-posavska	Slavonski Brod	1	1
13.	Zadarska	Zadar	2	2
14.	Osječko-baranjska	Osijek	1	1
15.	Šibensko-kninska	Šibenik	1	1
16.	Vukovarsko-srijemska	Vukovar	1	1
17.	Splitsko-dalmatinska	Split	1	1
18.	Istarska	Pazin	1	1
19.	Dubrovačko-neretvanska	Dubrovnik	1	1
20.	Međimurska	Čakovec	1	1
				Ukupno 33

2.2.3. Svrha projekta

Cilj ovog projekta je pružiti potrošačima znanstveno utemeljene činjenice o kakvoći i utjecaju vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava na nutritivnu vrijednost dojenačkih mliječnih pripravaka, a rezultati projekta će omogućiti upraviteljima rizikom (nadležnim ministarstvima) donošenje nacionalnih propisa i preporuka te poduzimanje odgovarajućih mjera nadzora (HAH, 2015).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak rada bio je odrediti utjecaj termičke obrade, odnosno prokuhavanja, na kemijski sastav i kakvoću vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava gradova sjedišta dvadeset hrvatskih županija i grada Zagreba.

3.2. MATERIJAL I METODE

Prikupljeni uzorci vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava gradova središta pojedinih županija i grada Zagreba, odnosno njihovih vodoopskrbnih zona, analizirani su prije i nakon termičke obrade na petnaest parametara, pri čemu su korištene standardizirane i akreditirane metode ionske kromatografije i induktivno spregnute plazme – optička emisijska spektrometrija (ICP-OES), što je vidljivo iz **Tablice 4**. Termička obrada uzoraka vode provedena je zagrijavanjem uzoraka vode 2 minute od početka ključanja te njihovim hlađenjem na sobnu temperaturu.

Tablica 4 Popis parametara i analitičkih metoda kojima su analizirani uzorci vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava dvadeset hrvatskih županija i grada Zagreba.

Broj	Parametar	Metoda
1.	Bakar	HRN EN ISO 11885:2010*
2.	Cink	HRN EN ISO 11885:2010*
3.	Fluoridi	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*
4.	Fosfati	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*
5.	Jodidi	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*
6.	Kalcij	HRN EN ISO 14911:2001*
7.	Kalij	HRN EN ISO 14911:2001*
8.	Kloridi	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*
9.	Magnezij	HRN EN ISO 14911:2001*
10.	Mangan	HRN EN ISO 11885:2010*

11.	Natrij	HRN EN ISO 14911:2001*
12.	Selen	HRN EN ISO 11885:2010
13.	Željezo	HRN EN ISO 11885:2010*
14.	Sulfati	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*
15.	Nitrati	HRN EN ISO 10304-1:2009/Ispr.1:2012*

3.2.1. Metoda ionske kromatografije

Ionska kromatografija je analitička tehnika koja omogućuje kvalitativno i kvantitativno određivanje aniona, kationa i polarnih molekula. Temelji se na razdvajanju komponenti smjese zbog djelovanja kulonovih (ionskih) sila. Stacionarna faza ima ionske funkcijske skupine koje reagiraju s ionima iz analizirane smjese suprotnog naboja. Njezina glavna prednost je u velikoj brzini analize, osjetljivosti i preciznosti. Tipični ioni koji se mogu odrediti ionskom kromatografijom su amonij, litij, kalij, natrij, magnezij, kalcij, barij, stroncij, fluorid, klorid, klorat, bromid, bromat, sulfat, nitrit, nitrat, fosfat, metali, niže organske kiseline, šećeri, aminokiseline itd. Metoda ionske kromatografije u kontroli kakvoće vode prihvaćena je u okviru djelatnosti DZNM/TO 147-Kakvoća vode. Do sada je usvojeno šest hrvatskih normi od kojih se tri mogu koristiti pri analizi vode za piće i to: HRN EN ISO 10304-3:2001, HRN EN ISO 14911:2001, HRN EN ISO 15061:2001 (Stefanović, 2005; Šoštarić, 2010).

3.2.2. Metoda induktivno spregnute plazme-optičko emisijske spektrometrije (ICP-OES)

ICP-OES metoda koristi za određivanje metala i elemenata u tragovima u vodi. Ima veliko linearno područje analize, niske granice detekcije te vrlo veliku preciznost mjerenja uz vrlo kratko vrijeme analize. Prednost ove metode je što je kod nje utjecaj matrice vrlo mali, pa je pogodna za analizu uzoraka složenih matrica (primjerice kožni i tekstilni materijali, neki biološki nehomogeni uzorci, otpadne vode i sl.). ICP-AES je emisijska spektrofotometrijska tehnika temeljena na činjenici da pobuđeni elektroni pri povratku u osnovno stanje emitiraju energiju točno određene valne duljine.

Osnovna karakteristika ovog procesa je da svaki element emitira zračenje određene valne duljine. Iako svaki element emitira „smjesu“ valnih duljina u ICP-AES tehnici izdvaja se jedan ili manji broj specifičnih valnih duljina za dani element.

Intenzitet energije emitirane za odabranu valnu duljinu proporcionalan je koncentraciji elementa u analiziranom uzorku. Dakle, određivanjem valnih duljina koje emitira analizirani uzorak te njihovog intenziteta dobivamo kvalitativni i kvantitativni sastav uzorka.

ICP-OES je multielementarna metoda koja je danas vrlo zastupljena u većini različitih analitičkih laboratorija jer u istom uzorku može pratiti i do 70 različitih elemenata (Šoštarić, 2010).

4. REZULTATI I RASPRAVA

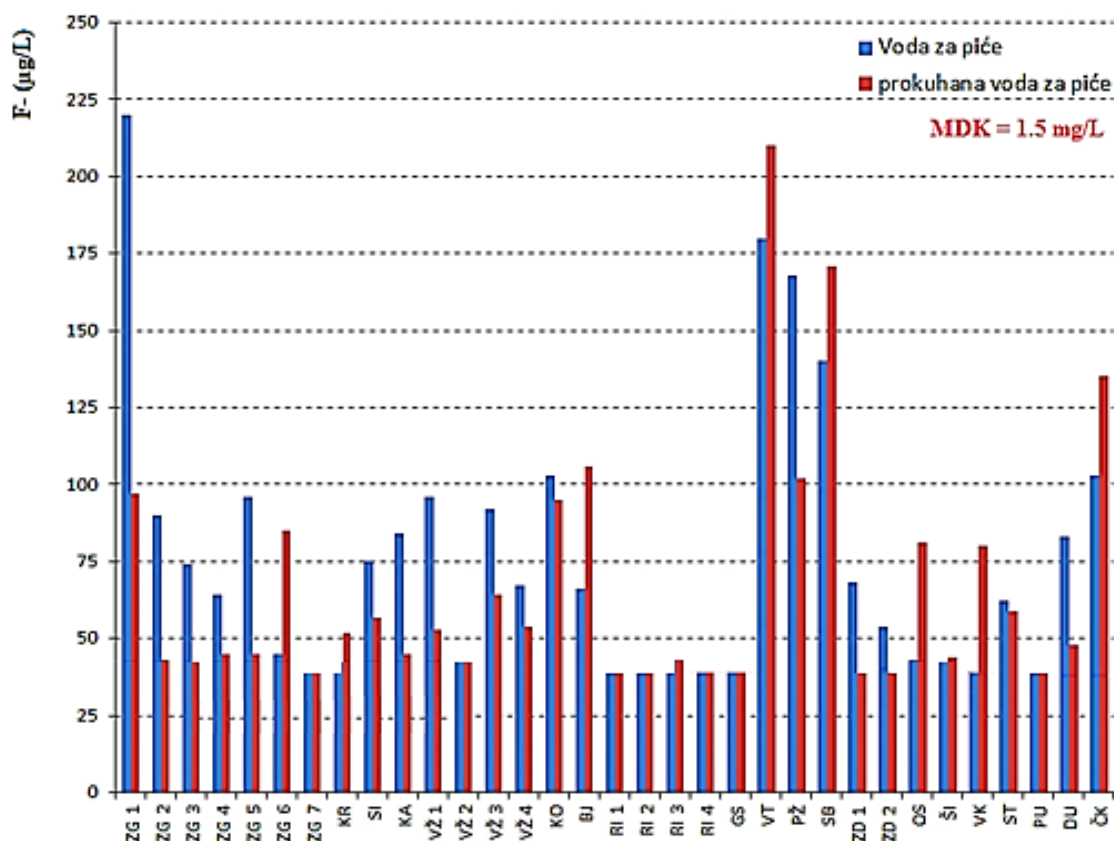
4.1. FLUORIDI

Očekivano ponašanje fluorida pri termičkoj obradi vode je da će se njegove koncentracije povećati prije nego smanjiti. Objašnjenje leži u tome da je fluorid teži od vode te se kuhanjem količine vode smanjuju dok fluorid ne isparava. Kada bi vodu kuhali dok u potpunosti ne ispari, na dnu posude, u kojoj smo kuhali, bi ostali fluoridi i druge kemikalije koje su teže od vode (Fawell i suradnici, 2006). Iz **Tablice 5** vidljivi su rezultati analize prije i nakon termičke obrade.

Tablica 5 Rezultati analize uzoraka vode na fluoride prije i nakon termičke obrade

Vodopskrbni sustav	Kratica	F ⁻ sirova (µg/L)	F ⁻ obrađena (µg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	220	97
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	90	43
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	74	42
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	64	45
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	96	45
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	45	85
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	39	39
Krapina	KR	39	52
Sisak	SI	75	57
Karlovac	KA	84	45
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	96	53
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	39	41
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	92	64
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	67	54
Koprivnica	KO	103	95
Bjelovar	BJ	66	106
Rijeka 1(Rab)	RI 1	39	39
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	39	39
Rijeka 3	RI 3	39	43
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	39	39
Gospić	GS	39	39
Virovitica	VT	180	210
Požega	PŽ	168	102
Slavonski Brod	SB	140	171
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	68	39
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	54	39
Osijek	OS	43	81
Šibenik	ŠI	39	44
Vinkovci	VK	39	80
Split	ST	62	59
Pula	PU	39	39

Dubrovnik	DU	83	48
Čakovec	ČK	103	135
Srednja vrijednost		75,8	66,9



Slika 1 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za fluorid

Iz **Tablice 5** kao i **Slike 1** vidljivo je povećanje koncentracije fluorida, a time i tipično ponašanje fluorida pri termičkoj obradi, u 11 vodoopskrbnih sustava. U 6 vodoopskrbnih sustava zabilježene su iste koncentracije prije i nakon termičke obrade uzoraka vode. Najveće povećanje koncentracije fluorida je u Vinkovcima (VK), s <40 µg/L na 80 µg/L što je promjena od čak 105,13%. Nasuprot tomu, u 16 središta imamo netipično ponašanje fluorida i pad njegove koncentracije nakon provedbe termičke obrade. Najveće smanjenje koncentracije fluorida zabilježeno u središtu Zagreb, vodoopskrbnom sustavu Samobor (ZG1) i to sa 220 µg/L na 97 µg/L tj 55,90%. Sve vrijednosti analiza, dobivene prije i nakon termičke obrade, ne prelaze maksimalno dopuštenu koncentraciju (MDK) fluorida koja iznosi 1,5 mg/L odnosno 1500 µg/L.

4.2. KLORIDI

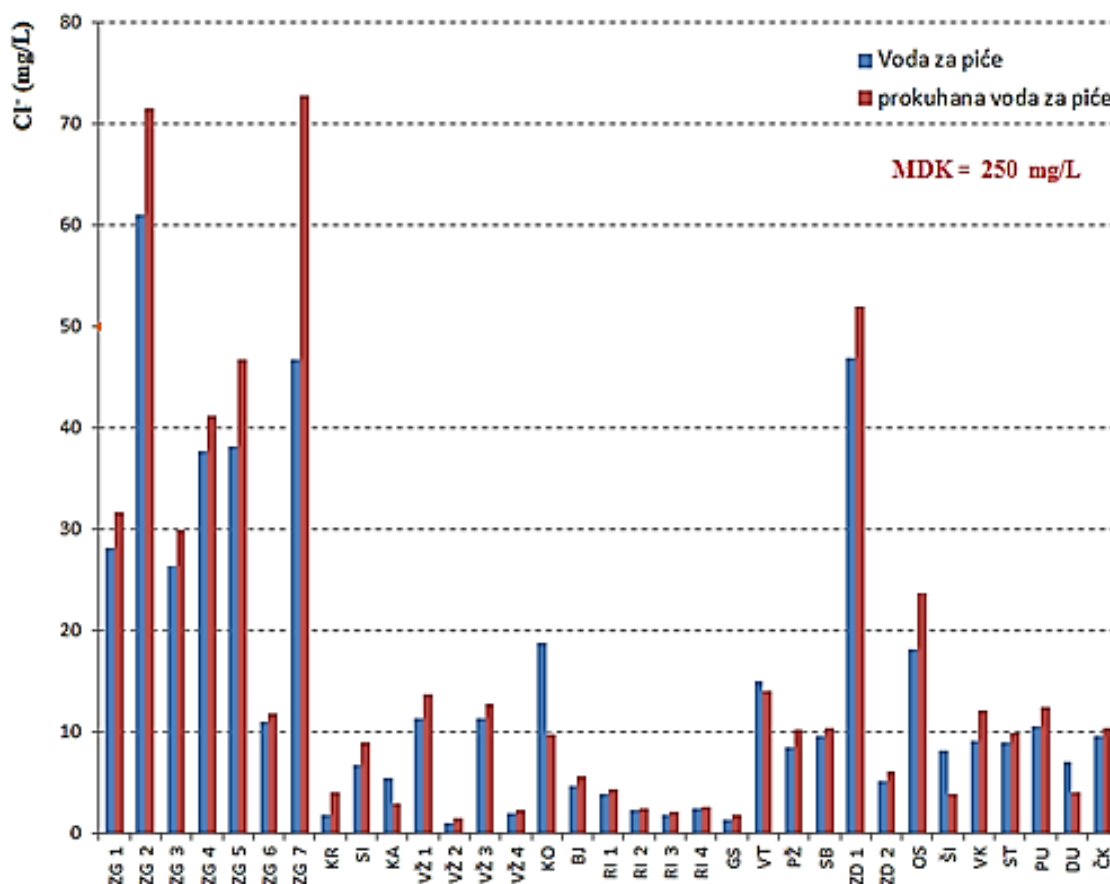
Kloridi, sulfati i nitrati kalcija i magnezija čine stalnu tvrdoću vode. Kuhanjem vode tj termičkom obradom, stalnu tvrdoću ne možemo ukloniti pa tako ni kloride. Kako povećanjem temperature kloridi neće ishlapiti, doći će do njihova koncentriranja odnosno porasta koncentracije kako se volumen vode koju termički obrađujemo smanjuje. Učinkovit način uklanjanja klorida, time i stalne tvrdoće, je kemijsko mekšanje vode, primjena ionskih izmjenjivača, reverza osmoza ili destilacija vode (Government of Saskatchewan, 2010).

Provedena analiza uzoraka vode za ljudsku potrošnju uzorkovane iz vodoopskrbnih sustava dvadeset županijskih središta u RH i gradu Zagrebu, pokazuje povećanje koncentracije klorida nakon provedene termičke obrade u čak 28 vodoopskrbnih sustava te smanjenje koncentracije u 5 središta. Najveća promjena, u vidu povećanja koncentracije, zabilježena je u Krapini (KR). Od početne koncentracije koja je iznosila 1,8 mg/L, ista je narasla na 4,1 mg/L što je porast od 127,78%. S druge strane, najveće smanjenje koncentracije klorida od čak 52,44% zabilježeno je u Šibeniku (ŠI). Tu je koncentracija pala sa 8,2 mg/L, određenih za sirovu vodu, na 3,9 mg/L nakon što je termička obrada provedena što je vidljivo i u **Tablici 6**. Sve vrijednosti su se kretale ispod maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) kako prije tako i nakon termičke obrade što možemo vidjeti iz **Slike 2**.

Tablica 6 Rezultati analize uzoraka vode na kloride prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratika	Cl ⁻ sirova (mg/L)	Cl ⁻ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	28,1	31,6
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	61	71,5
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	24,8	29,9
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	37,7	41,2
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	38,2	46,7
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	11,1	11,9
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	46,8	72,7
Krapina	KR	1,8	4,1
Sisak	SI	6,8	8,9
Karlovac	KA	5,4	3
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	11,3	13,8
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	1,1	1,5
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	11,3	12,7
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	2	2,3
Koprivnica	KO	18,8	9,7
Bjelovar	BJ	4,6	5,7
Rijeka 1(Rab)	RI 1	3,9	4,4

Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	2,3	2,5
Rijeka 3	RI 3	1,9	2,2
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	2,4	2,6
Gospić	GS	1,4	1,8
Virovitica	VT	15	14,1
Požega	PŽ	8,5	10,2
Slavonski Brod	SB	9,6	10,4
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	46,9	51,9
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	5,2	6,1
Osijek	OS	18,2	24,6
Šibenik	ŠI	8,2	3,9
Vinkovci	VK	9,2	12,1
Split	ST	9	9,9
Pula	PU	10,5	12,4
Dubrovnik	DU	7	4,1
Čakovec	ČK	9,6	10,4
Srednja vrijednost		14,5	16,7



Slika 2 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za kloride

4.3. NITRATI

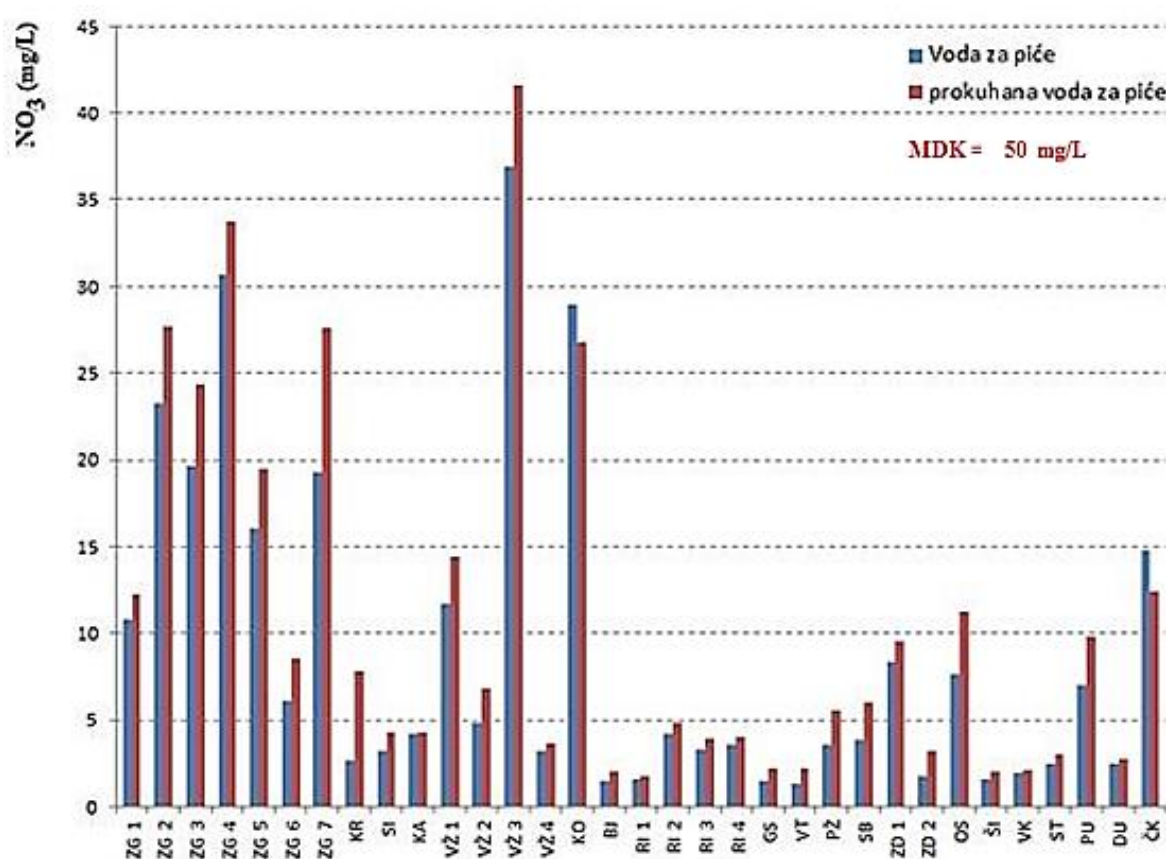
Nema jednostavnog načina za uklanjanje nitrata iz vode. Budući da nitrati ne isparavaju tako jednostavno, kuhanje, smrzavanje ili ostavljanje vode da stoji te prirodnim putem evaporira, neće smanjiti koncentracije nitrata. Štoviše, termička obrada vode duže od 10 minuta dovesti će do koncentriranja nitrata i rasta njihove koncentracije (Pintara i Levec, 1998).

Nakon što smo proveli termičku obradu naših uzoraka te izvršili njihovu analizu na nitrate, porast koncentracije nitrata dogodio se u čak 31 vodoopskrbnom sustavu, dok je do smanjenja koncentracije došlo u tek dva vodoopskrbna sustava; Koprivnica (KO) i Čakovec (ČK) (**Tablica 7**). Promatrajući početnu i konačnu koncentraciju nitrata u uzorku, najveće povećanje koncentracije zabilježeno je u Krapini (KR) gdje je ona rasla sa 2,7 mg/L, u sirovoj vodi, na 7,8 mg/L nakon termičke obrade (t.o.) što je porast od 188,89%. Smanjenje koncentracije sa 14,8 mg/L prije t.o. na 12,4 mg/L nakon t.o. dogodio se u središtu Čakovec (ČK). Ovo smanjenje iznosi 16,22% i ujedno je najdrastičnije. Sve dobivene koncentracije, kako prije tako i nakon termičke obrade, ostale su ispod MDK za nitrate koja iznosi 50 mg/L. (**Slika 3**)

Tablica 7 Rezultati analize uzoraka vode na nitrate prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	NO ₃ ⁻ sirova (mg/L)	NO ₃ ⁻ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	10,8	12,2
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	23,3	27,7
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	19,6	24,3
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	30,7	33,7
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	16	19,5
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	6,1	8,5
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	19,3	27,6
Krapina	KR	2,7	7,8
Sisak	SI	3,2	4,3
Karlovac	KA	4,2	4,3
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	11,7	14,4
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	4,8	6,8
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	36,9	41,6
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	3,2	3,7
Koprivnica	KO	28,9	26,8
Bjelovar	BJ	1,5	2
Rijeka 1(Rab)	RI 1	1,6	1,8
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	4,2	4,8
Rijeka 3	RI 3	3,3	3,9

Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	3,6	4
Gospić	GS	1,5	2,2
Virovitica	VT	1,3	2,2
Požega	PŽ	3,6	5,6
Slavonski Brod	SB	3,8	6
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	8,4	9,5
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	1,8	3,2
Osijek	OS	7,6	11,2
Šibenik	ŠI	1,6	2
Vinkovci	VK	1,9	2,1
Split	ST	2,5	3
Pula	PU	7	9,8
Dubrovnik	DU	2,5	2,8
Čakovec	ČK	14,8	12,4
Srednja vrijednost		8,9	10,7



Slika 3 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za nitrata

4.4. SULFATI

Kao što je ranije spomenuto, sulfati su uz kloride i nitrane kalcija i magnezija odgovorni za stalnu tvrdoću vode koju običnom termičkom obradom nije moguće ukloniti. Upravo zbog toga koncentracije sulfata termičkom obradom vode će rasti (Minnesota Department of Health, 2014).

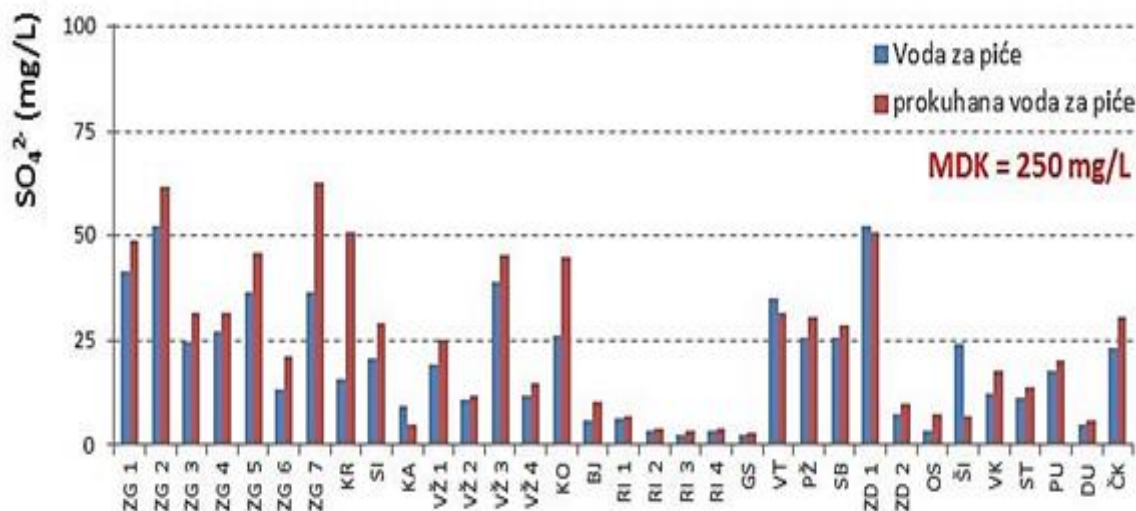
Rezultati analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju na sulfate uzorkovane iz vodoopskrbnih sustava dvadeset županijskih središta u RH i gradu Zagrebu dana je u **Tablici 8**.

Tablica 8 Rezultati analize uzoraka vode na sulfate prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	SO ₄ ²⁻ sirova (mg/L)	SO ₄ ²⁻ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	41,3	49
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	52,6	61,8
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	24,7	31,6
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	27	31,7
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	36,5	46,1
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	13,5	21,2
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	36,6	63
Krapina	KR	15,7	50,8
Sisak	SI	20,6	29,1
Karlovac	KA	9,1	5
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	19,3	25,3
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	10,8	11,6
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	38,9	45,4
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	11,7	15
Koprivnica	KO	26,2	44,9
Bjelovar	BJ	6	10,1
Rijeka 1(Rab)	RI 1	6,4	7
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	3,3	3,9
Rijeka 3	RI 3	2,4	3,3
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	3,2	3,9
Gospić	GS	2,4	2,8
Virovitica	VT	35	31,7
Požega	PŽ	25,7	30,4
Slavonski Brod	SB	25,6	28,7
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	52,3	51,1
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	7,3	9,8
Osijek	OS	3,2	7,3
Šibenik	ŠI	24,3	7
Vinkovci	VK	12,5	17,9
Split	ST	11,2	13,9
Pula	PU	17,7	20,4

Dubrovnik	DU	5	5,7
Čakovec	ČK	23	30,4
Srednja vrijednost		19,7	24,8

Na osnovu predočenih rezultata uočavamo porast koncentracije sulfata nakon termičke obrade u 29 središta. Najznačajniji zabilježen je u Krapini (KR), sa 15,7 mg/L prije t.o. na 50,8 mg/L nakon provedene t.o., što predstavlja porast koncentracije od 223,57%. Pad koncentracije nakon provedene termičke obrade zabilježen je u 4 vodoopskrbna sustava; Karlovac (KA), Virovitica (VT), Zadar-Borik (ZD1), Šibenik (ŠI). Od navedenih, najveću promjenu uočavamo u Šibeniku gdje je koncentracije pala sa 24,3 mg/L prije t.o. na 7 mg/L nakon t.o., što je pad od 71,19% u odnosu na početnu koncentraciju. Vrijednosti su se prije i nakon termičke obrade kretale unutar MDK za sulfate koja je prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju postavljena na 250 mg/L. (Slika 4)



Slika 4 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za sulfate

4.5. FOSFATI

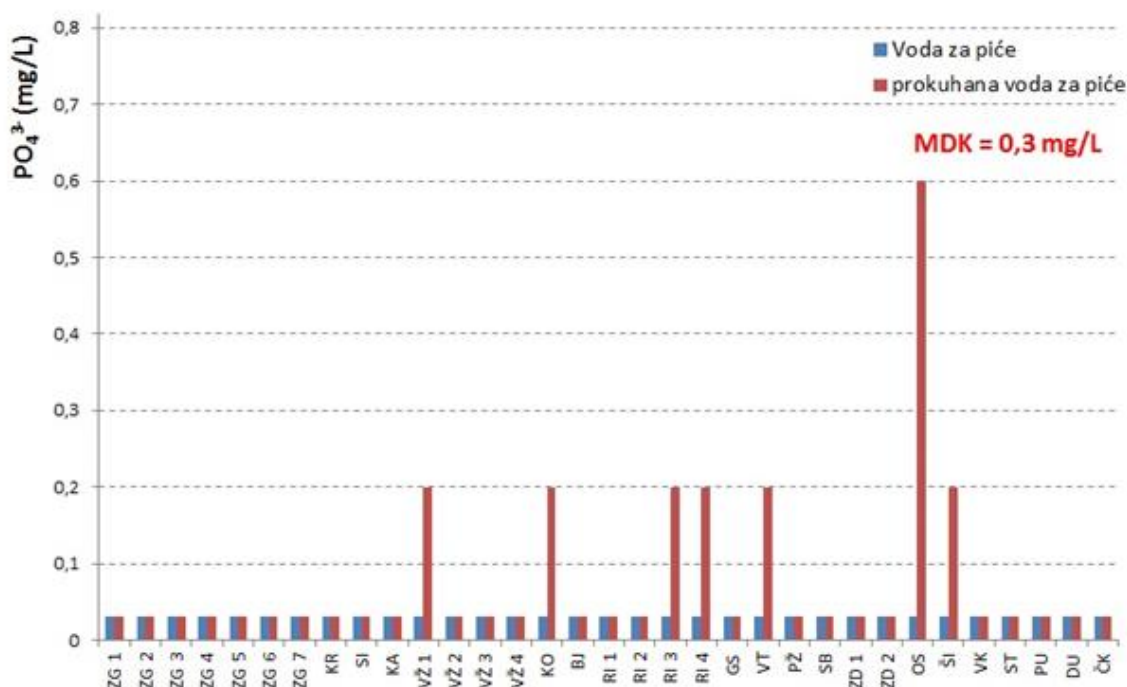
Fosfati u vodama javljaju se iz različitih izvora. Velike količine polifosfata mogu potjecati iz sredstava za čišćenje, koja sadrže fosfor u svojim glavnim komponentama. Ortofosfati koji se koriste u poljoprivredi kao mineralna gnojiva ispiranjem dospijevaju u površinske vode. Organski fosfor dospijeva u vodene sustave ekskrecijom vodenih organizama i otpadnim vodama. Određena količina fosfata neophodna je za rast i razvoj biljaka i životinja. Previše fosfata u vodi dovodi do pojave eutrofikacije, posebno kada su istovremeno prisutne i velike količine nitrata. Termičkom obradom vode ne možemo ukloniti fosfate, time se njegove koncentracije neće smanjivati.

Tablica 9 Rezultati analize uzoraka vode na fosfate prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	PO ₄ ³⁻ sirova (mg/L)	PO ₄ ³⁻ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	0,03	0,03
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	0,03	0,03
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	0,03	0,03
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	0,03	0,03
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	0,03	0,03
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	0,03	0,03
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	0,03	0,03
Krapina	KR	0,03	0,03
Sisak	SI	0,03	0,03
Karlovac	KA	0,03	0,03
Varaždin 1 (motičnjak)	VŽ 1	0,03	0,2
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	0,03	0,03
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	0,03	0,03
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	0,03	0,03
Koprivnica	KO	0,03	0,2
Bjelovar	BJ	0,03	0,03
Rijeka 1(Rab)	RI 1	0,03	0,03
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	0,03	0,03
Rijeka 3	RI 3	0,03	0,2
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	0,03	0,2
Gospić	GS	0,03	0,03
Virovitica	VT	0,03	0,2
Požega	PŽ	0,03	0,03
Slavonski Brod	SB	0,03	0,03
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	0,03	0,03
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	0,03	0,03
Osijek	OS	0,03	0,6
Šibenik	ŠI	0,03	0,2

Vinkovci	VK	0,03	0,03
Split	ST	0,03	0,03
Pula	PU	0,03	0,03
Dubrovnik	DU	0,03	0,03
Čakovec	ČK	0,03	0,03
Srednja vrijednost		0,03	0,08

Iz priložene tablice uočavamo da je tek u 7 središta došlo do promjene koncentracije fosfata. U svih 7 koncentracija je rasla, a najveći porast zabilježen je u Osijeku (OS) i to s <0,04 mg/L prije termičke obrade na 0,6 mg/L nakon termičke obrade. Uzmemo li da je neka početna vrijednost fosfata u sirovoj vodi 0,03 mg/L te da je ista narasla na spomenutih 0,6 mg/L nakon termičke obrade, vidimo da je koncentracija narasla gotovo 16 puta, odnosno 1900%. U ostalih 6 središta također je došlo do rasta koncentracije, no ona je nešto blaža i kreće se od <0,04 mg/L, što je koncentracija prije termičke obrade, do 0,2 mg/L nakon termičke obrade. Sami porast izražen u postotcima iznosi 566,67%, ako kao vrijednost prije termičke obrade uzmemo 0,03 mg/L.



Slika 5 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za fosfate

Maksimalno dopuštene koncentracije za fosfate u vodi su 300 µg/L odnosno 0,3 mg/L. Vidimo kako je u vodoopskrbnom sustavu središta Osijek (OS), nakon termičke obrade uzorka vode, ova koncentracija prekoračena te je dvostruko iznad dopuštene što je vidljivo i na **Slici 5**.

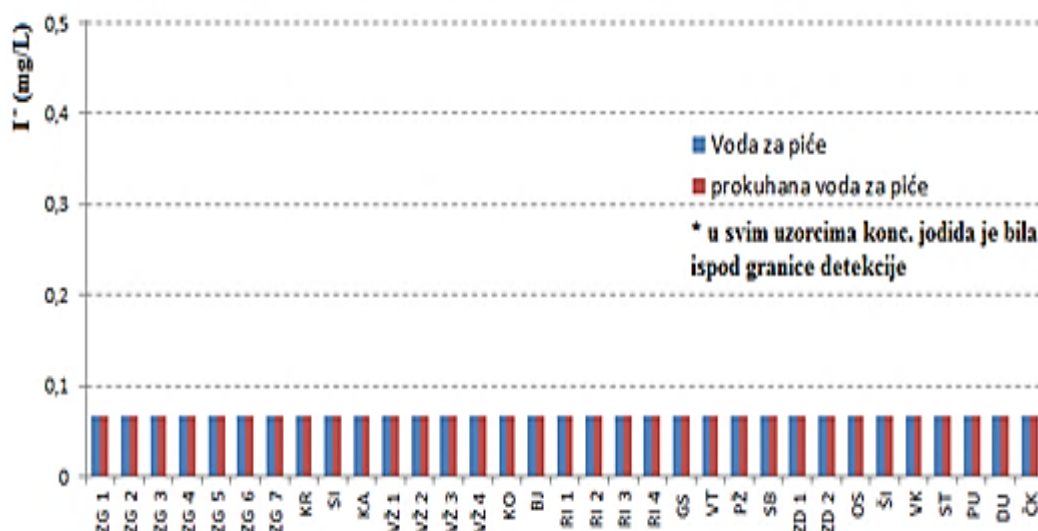
4.6. JODIDI

U svim vodoopskrbnim sustavima koncentracije jodida ostale su <0,1 mg/L prije i nakon termičke obrade te time i ispod granice detekcije. (**Tablica 10, Slika 6**)

Tablica 10 Rezultati analize uzoraka vode na jodide prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	I ⁻ sirova (mg/L)	I ⁻ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	0,09	0,09
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	0,09	0,09
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	0,09	0,09
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	0,09	0,09
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	0,09	0,09
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	0,09	0,09
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	0,09	0,09
Krapina	KR	0,09	0,09
Sisak	SI	0,09	0,09
Karlovac	KA	0,09	0,09
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	0,09	0,09
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	0,09	0,09
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	0,09	0,09
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	0,09	0,09
Koprivnica	KO	0,09	0,09
Bjelovar	BJ	0,09	0,09
Rijeka 1(Rab)	RI 1	0,09	0,09
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	0,09	0,09
Rijeka 3	RI 3	0,09	0,09
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	0,09	0,09
Gospić	GS	0,09	0,09
Virovitica	VT	0,09	0,09
Požega	PŽ	0,09	0,09
Slavonski Brod	SB	0,09	0,09
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	0,09	0,09
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	0,09	0,09
Osijek	OS	0,09	0,09
Šibenik	ŠI	0,09	0,09

Vinkovci	VK	0,09	0,09
Split	ST	0,09	0,09
Pula	PU	0,09	0,09
Dubrovnik	DU	0,09	0,09
Čakovec	ČK	0,09	0,09
Srednja vrijednost		0,09	0,09



Slika 6 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za jodide

4.7. NATRIJ

Kuhanje vode dovodi do isparavanja vode u obliku vodene pare dok na nehlapljive otopljene tvari nema utjecaja. Stoga, kuhanjem vode nećemo utjecati na masu natrijevih kationa prisutnih u vodi. Međutim, kuhanjem vode smanjujemo masu i volumen vode čime se povećava udio natrijevih kationa prisutnih u preostaloj količini vode te se tako njihova koncentracija povećava. Jedan od načina za uklanjanje otopljenih soli iz vode je destilacija gdje se voda kuha, zatim se para hladi dok se ne kondenzira u drugoj posudi. Otopljene tvari kao natrij, ostaju u posudi za kuhanje. Od ostalih metoda najznačajnije su reverzna osmoza i deionizacija (Department of Health Western Australia, 2012).

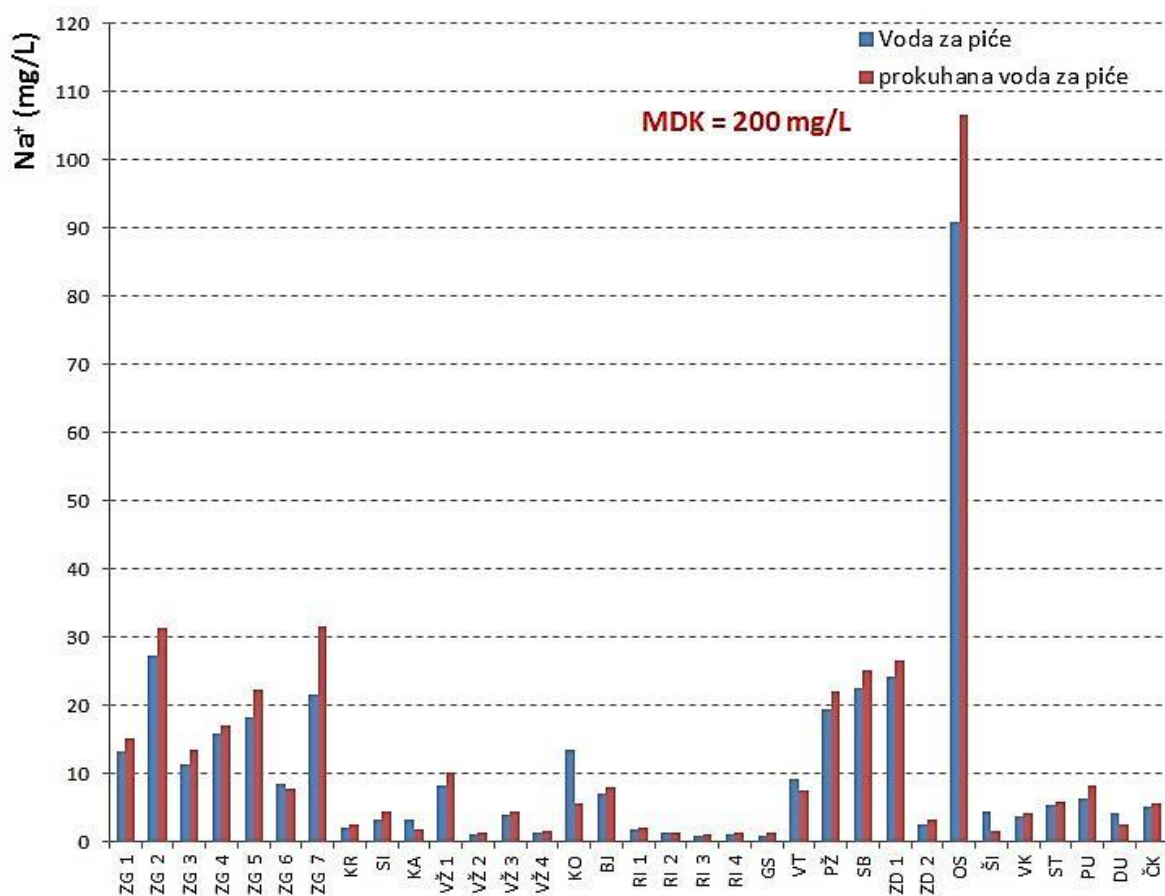
U **Tablici 11** prikazani su rezultati dobiveni analizom uzoraka vode na natrij prije i nakon što smo proveli termičku obradu vode.

Tablica 11 Rezultati analize uzoraka vode na natrij prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	Na ⁺ sirova (mg/L)	Na ⁺ obrađena (mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	13,3	15
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	27,2	31,2
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	11,3	13,4
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	15,8	17,1
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	18,1	22,3
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	8,4	7,7
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	21,5	31,5
Krapina	KR	1,9	2,5
Sisak	SI	3,2	4,4
Karlovac	KA	3,3	1,7
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	8,3	10,1
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	1,1	1,2
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	3,9	4,5
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	1,3	1,5
Koprivnica	KO	13,5	5,6
Bjelovar	BJ	7,1	7,9
Rijeka 1(Rab)	RI 1	1,7	2,1
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	1,2	1,3
Rijeka 3	RI 3	0,9	1,1
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	1,1	1,3
Gospić	GS	0,9	1,2
Virovitica	VT	9,2	7,4
Požega	PŽ	19,3	22,1
Slavonski Brod	SB	22,4	25,2
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	24,1	26,5
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	2,6	3,1
Osijek	OS	90,8	106,6
Šibenik	ŠI	4,4	1,6
Vinkovci	VK	3,8	4,1
Split	ST	5,3	5,8
Pula	PU	6,2	8,2
Dubrovnik	DU	4,1	2,6
Čakovec	ČK	5,1	5,7
Srednja vrijednost		10,9	12,2

Kod natrija, analizom rezultata uočavamo rast koncentracije u čak 27 središta među kojima se izdvaja vodoopskrbni sustav središta Zagreb-Bukovac (ZG7) sa rastom od 46,51% uspoređujući početnu i konačnu koncentraciju natrija. U ovom slučaju povećanje je išlo sa 21,5 mg/L prije t.o. na 31,5 mg/L što je koncentracija nakon t.o.. Smanjenje koncentracije

natrija, a time i odstupanje od očekivanog ponašanja natrija, zabilježeno je vodoopskrbnim sustavima 6 županijskih središta. Najveći pad u koncentraciji imamo u Šibeniku. U spomenutom, koncentracija pada za 2,8 mg/L što je, gledajući početnu koncentraciju od 4,4 mg/L i koncentraciju nakon t.o. od 1,6 mg/L, pad od čak 63,63%. Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju MDK za natrij iznosi 200 mg/L koja nije prekoračena u nijednom vodoopskrbnom sustavu kako prije tako ni nakon provedene termičke obrade. (Slika 7)



Slika 7 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za natrij

4.8. KALCIJ I MAGNEZIJ

Kalcij i magnezij odgovorni su za karbonatnu tj. prolaznu tvrdoću u vodi. Prolazno tvrda voda se sastoji primarno od kalcijevih/magnezijevih (Ca^{2+} , Mg^{2+}) i bikarbonatnih iona (HCO_3^-). Prolazna tvrdoća može se lako ukloniti kuhanjem vode. Naime, zagrijavanje uzrokuje razlaganje kalcijevog/magnezijevog bikarbonatnog iona na kalcijev/magnezijev karbonat koji je netopiv u vodi te se zbog toga taloži (Sengupta, 2013).

U **Tablici 12** prikazane su koncentracije kalcija i magnezija u našim uzorcima prije i nakon što smo proveli termičku obradu.

Tablica 12 Rezultati analize uzoraka vode na kalcij i magnezij prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	Mg^{2+} sirova (mg/L)	Mg^{2+} obrađena (mg/L)	Ca^{2+} sirova (mg/L)	Ca^{2+} obrađena (mg/L)
ZAGREB1(SAMOBOR)	ZG 1	32,7	36,1	113,5	60,3
Zagreb2 (Zvijezda)	ZG 2	26,1	30,1	126,5	39,2
Zagreb3 (Trešnjevka)	ZG 3	21,4	25,4	98,6	66
Zagreb4 (Jarun)	ZG 4	25,7	27,6	115,7	109
Zagreb5 (Sesvete)	ZG 5	21,2	25,5	100,6	73,7
Zagreb6 (Utrine)	ZG 6	16,2	16,4	70,2	37,5
Zagreb7 (Bukovac)	ZG 7	24,1	30,4	114	55,5
Krapina	KR	48,6	46,9	92,2	30,7
Sisak	SI	12	16,2	52,8	59,8
Karlovac	KA	13,7	8,6	112,4	102,6
Varaždin1(Motičnjak)	VŽ 1	15,7	19,2	77,9	44,9
Varaždin2 (Ivanec)	VŽ 2	25,4	30,1	74,5	51,7
Varaždin3(laboratorij)	VŽ 3	21,7	24,4	99	84
Varaždin4(Bartolovec)	VŽ 4	29,8	32,9	94,6	44,3
Koprivnica	KO	26,4	22,9	74,6	40,9
Bjelovar	BJ	20,8	24,1	64,5	30,2
Rijeka 1(Rab)	RI 1	6	6,7	76,6	61
Rijeka2(Crikvenica)	RI 2	2,6	3,1	50,2	4,3
Rijeka 3	RI 3	4,3	5,1	45,2	41,3
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	2,6	3,2	48,4	49,3
Gospić	GS	12,4	14,8	48	30,6
Virovitica	VT	24,2	25,1	93,4	35,5
Požega	PŽ	23,9	28,5	117	72,4
Slavonski Brod	SB	22,2	25,1	47,1	27,4
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	8,1	9,4	114,2	61,6
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	5,7	6,6	70,5	56,2
Osijek	OS	27,5	30,2	85,6	73,7
Šibenik	ŠI	9,1	7,8	95,2	58,9

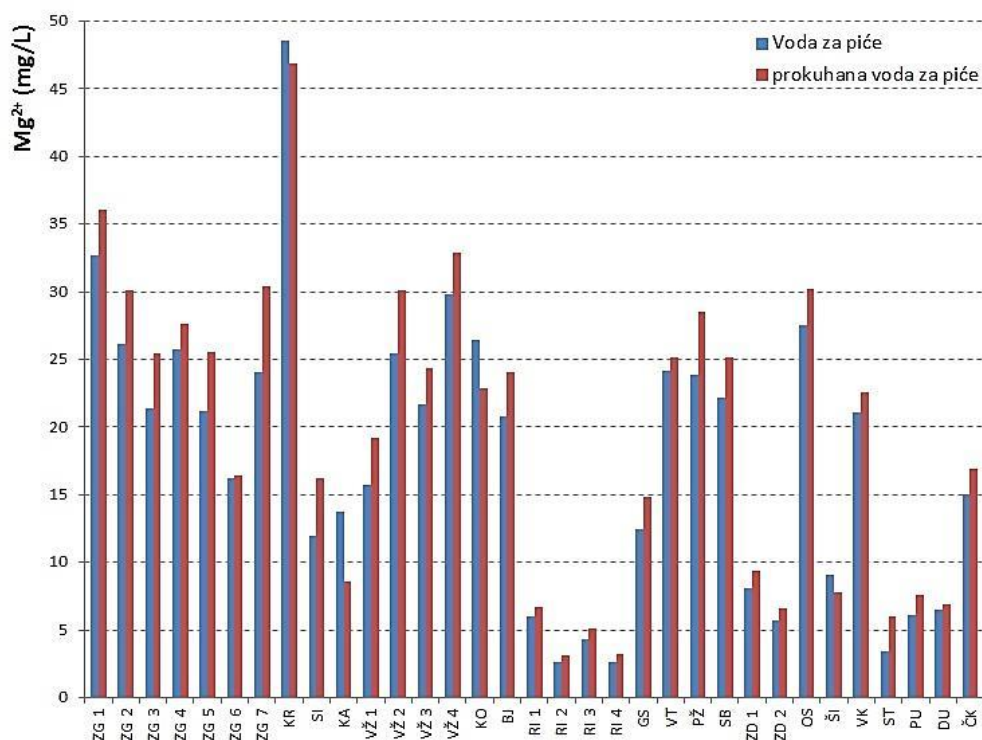
Vinkovci	VK	21,1	22,6	53,9	50,2
Split	ST	3,4	6	73,9	66,1
Pula	PU	6,1	7,6	97,9	74,1
Dubrovnik	DU	6,5	6,9	64,9	47,3
Čakovec	ČK	15	16,9	70,8	48,5
Srednja vrijednost		17,6	19,5	82,9	54,2

Iz prikazane tablice vidimo da je u slučaju analize magnezija u većini vodoopskrbnih sustava, točnije njih 29, zabilježen rast koncentracije. Od spomenutih 29 vodoopskrbnih sustava izdvojit ćemo Split (ST) kao središte u kojemu je rast koncentracije magnezija najdrastičniji. Sa početnih 3,4 mg/L, nakon termičke obrade koncentracija je porasla na 6 mg/L što je rast od 76,47%. Smanjenje početne koncentracije nakon provedene termičke obrade zabilježeno je u tek četiri vodoopskrbna sustava. Smanjenje od 37,22%, što je ujedno i najveće smanjenje koncentracije magnezija, zabilježeno je u Karlovcu (KA). U sirovoj vodi određena koncentracija iznosila je 13,7 mg/L dok je nakon termičke obrade ista pala na 8,6 mg/L.

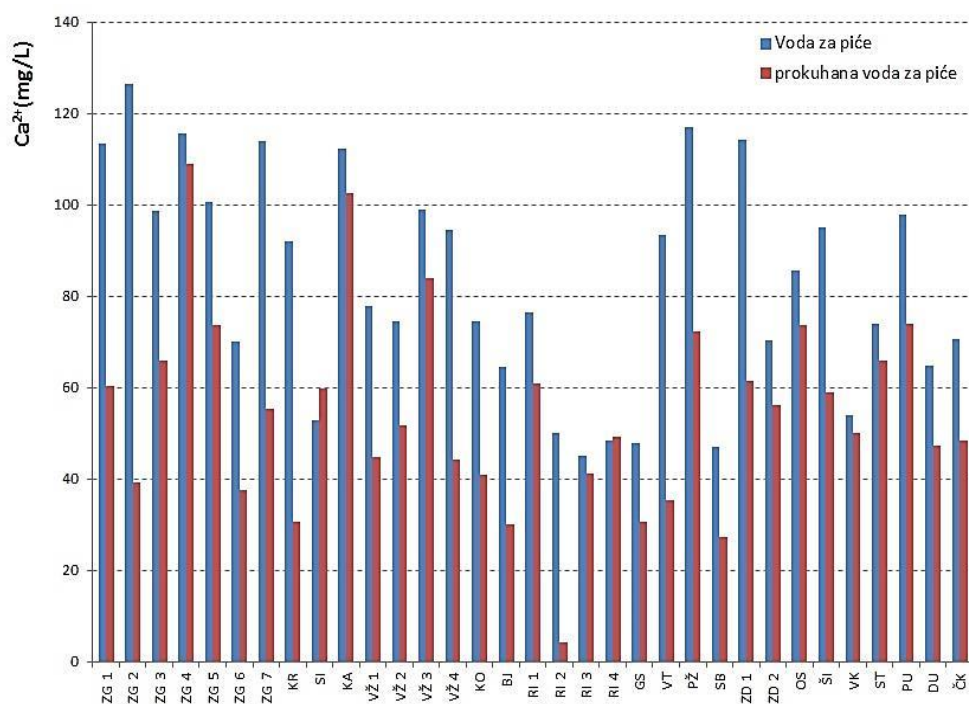
U slučaju kalcija, 31 vodoopskrbni sustav bilježi pad koncentracije nakon provođenja termičke obrade. U županijskom središtu Rijeka, a vodoopskrbnom sustavu Crikvenica (RI2) ovo smanjenje je najznačajnije. Koncentracija pada sa početnih 50,2 mg/L na 4,3 mg/L nakon t.o., a iz navedenog izračunati pad koncentracije iznosi 91,43%. Porast koncentracije kalcija zabilježen je u tek dva vodoopskrbna sustava i to u Sisku (SI) gdje je ona porasla za 13,26%, te u Rijeci-Ičićima (RI4) gdje je koncentracija porasla za tek 1,86% u odnosu na vrijednost određenu prije provedene termičke obrade.

Na **Slici 8** i **Slici 9** dan je grafički prikaz dobivenih rezultata analize.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju ne postoje propisane MDK za kalcij i magnezij nego se za tumačenje dobivenih rezultata koriste preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Općenito se preporuča da voda za piće sadrži >70 mg/L kalcija i >8 mg/L magnezija radi smanjenja rizika od kardiovaskularnih oboljenja i da se voda koja se koristi za piće i pripremanje hrane ne podvrgava procesu omekšavanja, odnosno demineralizacije. Voda s tvrdoćom <75 mg/L kalcijevog karbonata ima negativan efekt na mineralni balans.



Slika 8 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za magnezij



Slika 9 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za kalcij

4.9. KALIJ

Koncentracije kalijevih kationa u vodi su općenito dosta male, no ako se pojave u većim količinama mogu imati laksativni učinak. Kalij (kalijev klorid) se koristi kao zamjena za sol u omekšivačima vode kada unos natrija putem hrane postane zdravstveno zabrinjavajući. Na temperaturama niskim kao što je vrelište vode nećemo utjecati na količine kalijevih kationa. Time će prilikom termičke obrade vode na temperaturi njenog ključanja koncentracije kalijevih kationa rasti kako se volumen vode bude smanjivao (Health Canada, 2008).

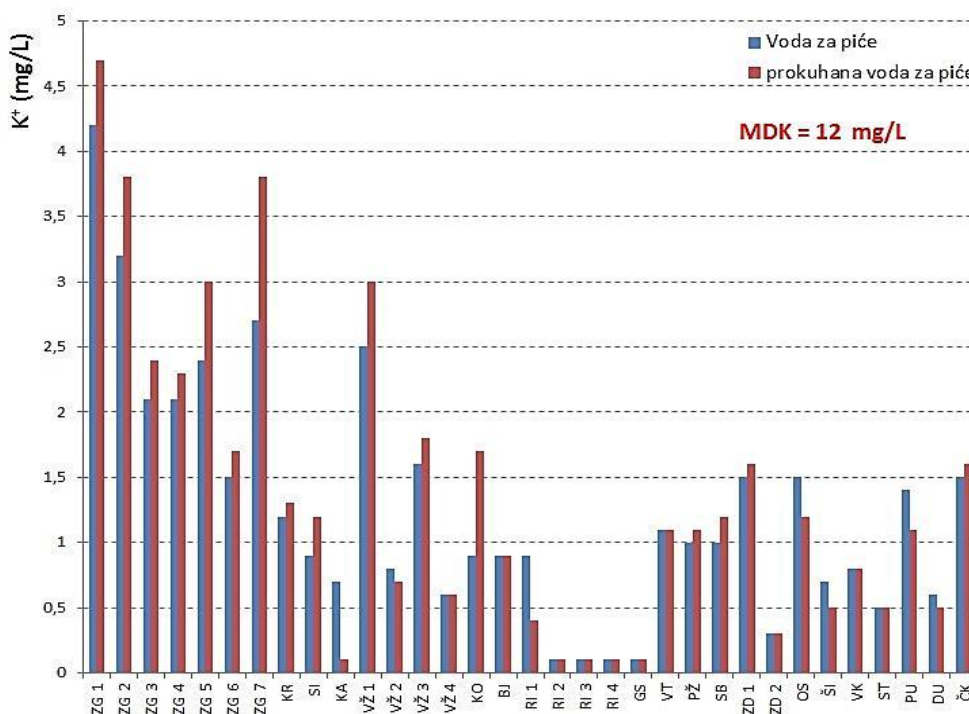
Tablica 13 Rezultati analize uzoraka vode na kalij prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	K ⁺ sirova (mg/L)	K ⁺ obrađena(mg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	4,2	4,7
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	3,2	3,8
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	2,1	2,4
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	2,1	2,3
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	2,4	3
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	1,5	1,7
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	2,7	3,8
Krapina	KR	1,2	1,3
Sisak	SI	0,9	1,2
Karlovac	KA	0,7	0,1
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	2,5	3
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	0,8	0,7
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	1,6	1,8
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	0,6	0,6
Koprivnica	KO	0,9	1,7
Bjelovar	BJ	0,9	0,9
Rijeka 1(Rab)	RI 1	0,9	0,4
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	0,1	0,1
Rijeka 3	RI 3	0,1	0,1
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	0,1	0,1
Gospić	GS	0,1	0,1
Virovitica	VT	1,1	1,1
Požega	PŽ	1	1,1
Slavonski Brod	SB	1	1,2
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	1,5	1,6
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	0,3	0,3
Osijek	OS	1,5	1,2
Šibenik	ŠI	0,7	0,5
Vinkovci	VK	0,8	0,8
Split	ST	0,5	0,5
Pula	PU	1,4	1,1

Dubrovnik	DU	0,6	0,5
Čakovec	ČK	1,5	1,6
Srednja vrijednost		1,3	1,4

Iz **Tablice 13** možemo vidjeti da se, nakon što smo proveli termičku obradu uzoraka vode, koncentracije kalija nisu mijenjale u čak 9 vodoopskrbnih sustava. Pad koncentracije zabilježen je u 7 vodoopskrbnih sustava, gdje je najizraženija promjena zabilježena u vodoopskrbnom sustavu središta Karlovac (KA). Naime, zabilježeni pad išao je sa početne vrijednosti od 0,7 mg/L u sirovoj vodi na <0,2 mg/L nakon što smo proveli termičku obradu, time se koncentracija smanjila za 72,86%. U ostalih 17 središta zabilježen je rast koncentracije kalija, sa Koprivnicom (KO) kao središtem gdje je navedena promjena koncentracije najznačajnija. Kretala se od početne vrijednosti 0,9 mg/L do 1,7 mg/L nakon što smo proveli višeminutnu termičku obradu, što je povećanje od 88,89%.

Maksimalno dopuštene koncentracije za kalij iznose 12 mg/L, a iz **Tablice 13** kao i **Slike 10**, na kojoj je vidljiv grafički prikaz dobivenih rezultata, možemo vidjeti kako te koncentracije nisu prekoračene ni prije ni nakon termičke obrade uzoraka vode.



Slika 10 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za kalij

4.10. ŽELJEZO I MANGAN

Željezo i mangan često se uklanjaju istovremeno iz vode obradom sa klorom, ozonom ili dodavanjem kemikalija za formiranje krutina koje se potom sedimentiraju ili filtriraju. Također se mogu koristiti metode ionske izmjene i reverzne osmoze no one znaju imati promjenjivu učinkovitost. Kuhanje vode nije preporučljivo za uklanjanje željeza i mangana jer će se time njihove koncentracije povećati. Budući da se radi o teškim metalima, na temperaturi vrenja vode oni neće isparavati, a kako se volumen vode smanjuje njihova koncentracija će rasti (Scherer, 2015).

Rezultati analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju na željezo i mangan uzorkovane iz vodoopskrbnih sustava dvadeset županijskih središta u RH i gradu Zagrebu dana je u **Tablici 14**.

Tablica 14 Rezultati analize uzoraka vode na željezo i mangan prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	Fe sirova (µg/L)	Fe obrađena (µg/L)	Mn sirova (µg/L)	Mn obrađena (µg/L)
ZAGREB1(SAMOBOR)	ZG 1	22,3	23,4	2,3	2,4
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	14	6,8	1,6	0,6
Zagreb 3(Trešnjevka)	ZG 3	4	4	0,4	0,4
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	4	4	0,4	0,4
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	4	4	0,4	0,4
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	4	6,2	0,4	0,4
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	14,1	13	0,4	0,4
Krapina	KR	12,5	4	0,4	0,4
Sisak	SI	28,6	18,6	2,9	1,3
Karlovac	KA	20,1	4	7,2	0,4
Varaždin1(Motičnjak)	VŽ 1	4	4	0,4	0,4
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	4	4	0,4	0,4
Varaždin3(laboratorij)	VŽ 3	4	4	0,4	0,4
Varaždin4(Bartolovec)	VŽ 4	6,5	4	0,4	0,4
Koprivnica	KO	101	4	1,3	0,4
Bjelovar	BJ	42,2	10,4	1,1	0,4
Rijeka 1(Rab)	RI 1	4	4	0,4	0,4
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	33,2	41,7	1,5	1,3
Rijeka 3	RI 3	9,7	31,5	0,7	0,4
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	6,6	9	0,5	0,5
Gospić	GS	21,4	24,6	1,2	1
Virovitica	VT	4	4	2,1	0,4
Požega	PŽ	4	4	0,8	0,5
Slavonski Brod	SB	4	4	0,6	3,4

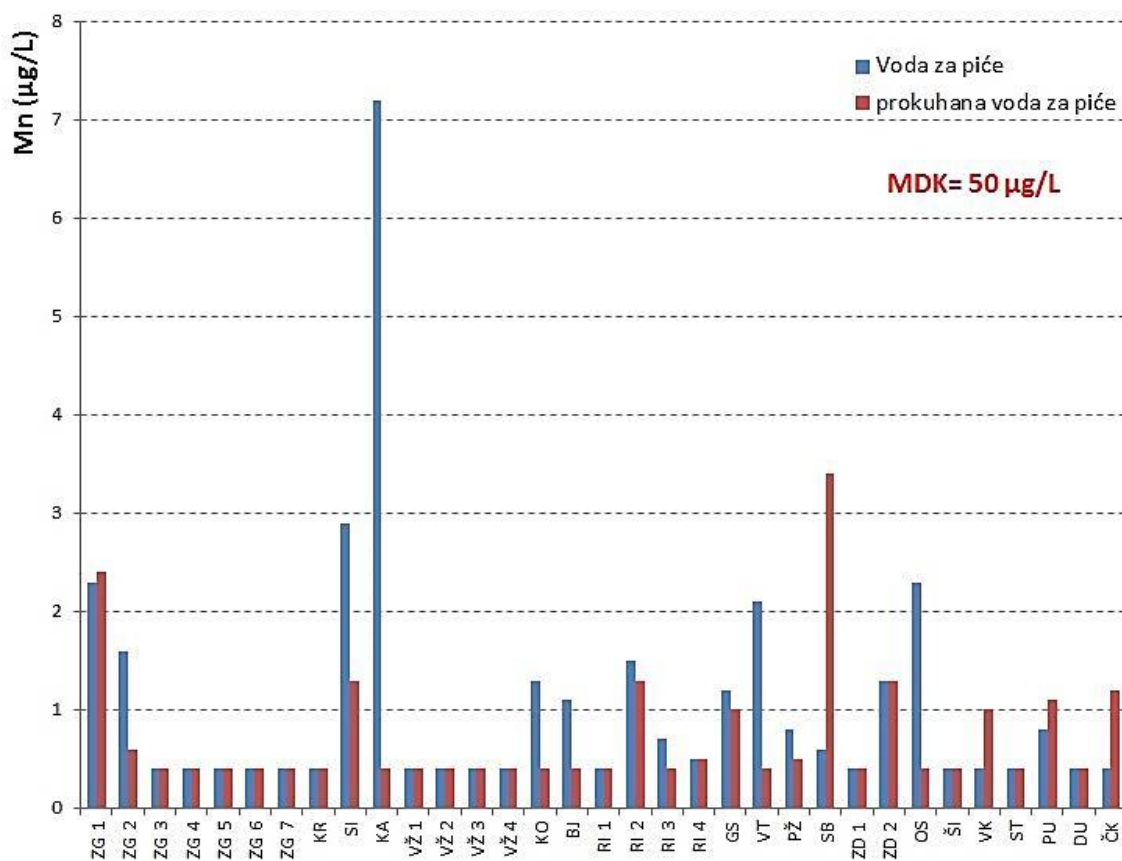
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	4	5,9	0,4	0,4
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	8,9	52,9	1,3	1,3
Osijek	OS	14,2	4	2,3	0,4
Šibenik	ŠI	14,6	4	0,4	0,4
Vinkovci	VK	12,8	15,6	0,4	1
Split	ST	4	8,1	0,4	0,4
Pula	PU	41	31,4	0,8	1,1
Dubrovnik	DU	4	4	0,4	0,4
Čakovec	ČK	10,2	66,6	0,4	1,2
Srednja vrijednost		14,8	13,1	1,1	0,7

U **Tablici 14** prikazani rezultati analize pokazuju da i u slučaju željeza i mangana imamo različito ponašanje u različitim vodoopskrbnim sustavima.

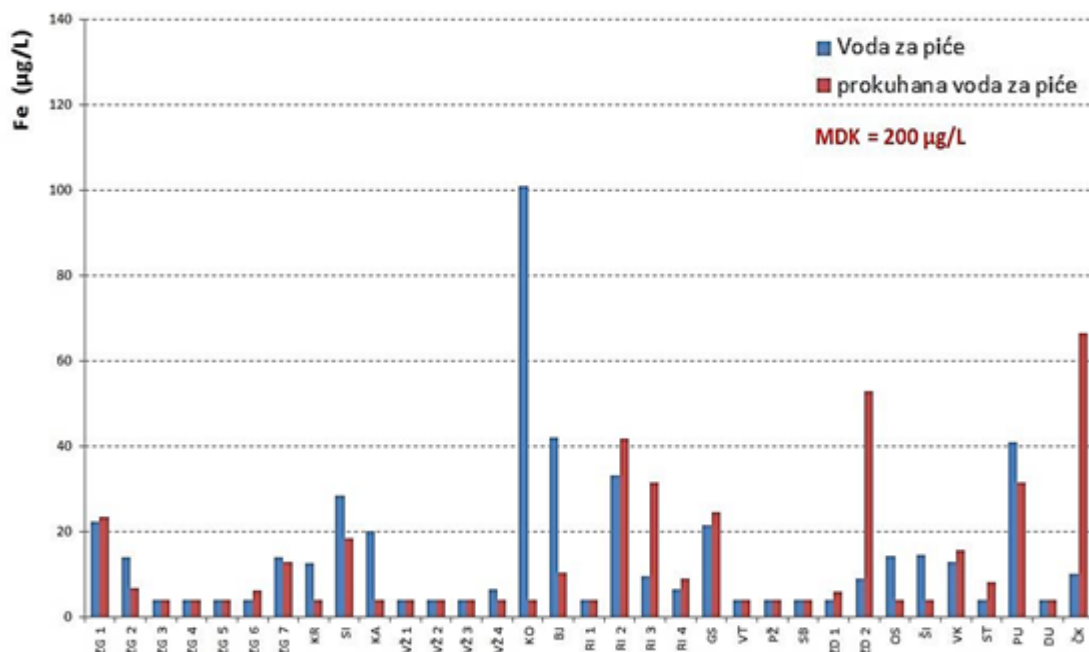
Kod željeza očekivani rast koncentracije nakon provedene termičke obrade zabilježen je u tek 11 vodoopskrbnih sustava. U isto toliko vodoopskrbnih sustava imamo pad koncentracije nakon provedene termičke obrade, a u 11 preostalih sustava koncentracije nakon termičke obrade nisu se mijenjale te su ostale jednake onima određenim za sirovu vodu. Najveći porast koncentracije iznosio je 552,94%, a zabilježen je u Čakovcu (ČK). U navedenom vodoopskrbnom sustavu koncentracija je porasla sa 10,2 µg/L prije t.o. na 66,6 µg/L nakon termičke obrade. Drastičan pad koncentracije nakon termičke obrade od 95,15% zabilježen je u vodoopskrbnom sustavu središta Koprivnica (KO). Sa 101 µg/L u sirovoj vodi, koncentracija željeza nakon termičke obrade pala je na <5 µg/L.

Nadalje, kod mangana rast koncentracije nakon termičke obrade zabilježen je u tek 5 vodoopskrbnih sustava. Među njima najveći rast zabilježen je u Slavonskom Brodu (SB). Tu se dogodio rast koncentracije od 466,67%; sa 0,6 µg/L prije t.o. na 3,4 µg/L nakon t.o.. Smanjenje koncentracije zabilježeno je u 11 vodoopskrbnih sustava.

Izdvojit ćemo središte Karlovac (KA) u čijem je vodoopskrbnom sustavu koncentracija smanjena za 94,44%. Od 7,2 µg/L u sirovoj vodi, ista je pala na <0,5 µg/L. Ipak, u većini vodoopskrbnih sustava, čak njih 17, koncentracije nakon termičke obrade ostale su nepromijenjene i jednake onima određenim za sirovu vodu. **Slika 11** i **Slika 12** daju grafički prikaz rezultata analize. Ni u jednom slučaju nije došlo do odstupanja od vrijednosti MDK postavljenih za željezo i mangan.



Slika 11 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za mangan



Slika 12 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za željezo

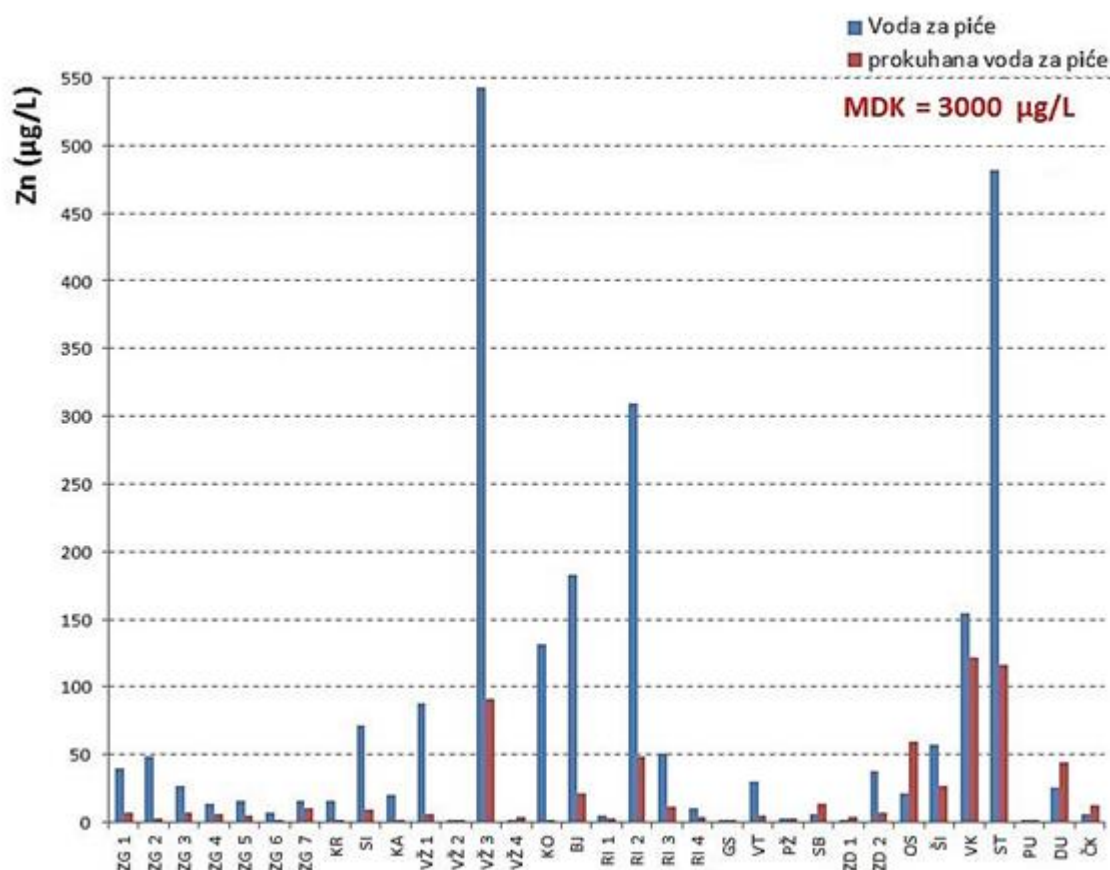
4.11. CINK

Termičkom obradom vode, na temperaturi njenog vrenja, cink se ne može ukloniti. Time će njegove koncentracije rasti smanjivanjem volumena vode (Government of Saskatchewan, 2010).

Tablica 15 Rezultati analize uzoraka vode na cink prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratika	Zn sirova($\mu\text{g/L}$)	Zn obrađena($\mu\text{g/L}$)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	39,9	7,4
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	48,8	2,5
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	26,4	7,2
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	13,7	6,4
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	16	4,4
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	7,5	1
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	15,5	10,2
Krapina	KR	15,7	1
Sisak	SI	71,9	9,6
Karlovac	KA	20,5	1
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	88,3	5,8
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	1	1
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	543	91,2
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	1	3,9
Koprivnica	KO	131	1
Bjelovar	BJ	183	20,8
Rijeka 1(Rab)	RI 1	4,5	2,2
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	309	49
Rijeka 3	RI 3	51,2	11,1
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	9,8	3,9
Gospić	GS	1	1
Virovitica	VT	30,2	5,3
Požega	PŽ	3,2	2,4
Slavonski Brod	SB	5,6	13,4
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	1	3,5
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	37,9	6,6
Osijek	OS	20,8	59,5
Šibenik	ŠI	57,6	26,7
Vinkovci	VK	154	122
Split	ST	482	116
Pula	PU	1	1
Dubrovnik	DU	26	44,3
Čakovec	ČK	6,4	12,1
Srednja vrijednost		73,5	19,8

Promatrajući rezultate iz **Tablice 15** uočavamo da su se koncentracije cinka u 24 vodoopskrbna sustava smanjile nakon termičke obrade, u 3 vodoopskrbna sustava; i to Varaždin-Ivanec (VŽ 2), Gospić (GS), Pula (PU); ostale su nepromijenjene i nakon termičke obrade, a u 6 vodoopskrbnih sustava one su se povećale. Najveći rast koncentracije zabilježen je u Osijeku (OS). Sa 20,8 $\mu\text{g/L}$ cinka u sirovoj vodi, koncentracija je nakon termičke obrade porasla za 38,7 $\mu\text{g/L}$, odnosno iznosila je 59,5 $\mu\text{g/L}$, time je ona narasla za gotovo 186,05%. Kod pada koncentracije nakon termičke obrade, izdvojit ćemo vodoopskrbni sustav središta Koprivnica (KO). U navedenom središtu koncentracija je sa početnih 131 $\mu\text{g/L}$ pala na <2 $\mu\text{g/L}$ nakon t.o., što je smanjenje od 98,55%. Sve vrijednosti prije i nakon termičke obrade nisu prekoračile MDK postavljene za cink. Na **Slici 13** dan je grafički prikaz analiziranih rezultata.



Slika 13 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za cink

4.12. BAKAR

Kuhanjem vode koncentracije bakra, kao i drugih teških metala, se neće smanjivati. Štoviše, zbog isparavanja vode koncentracije mogu rasti.

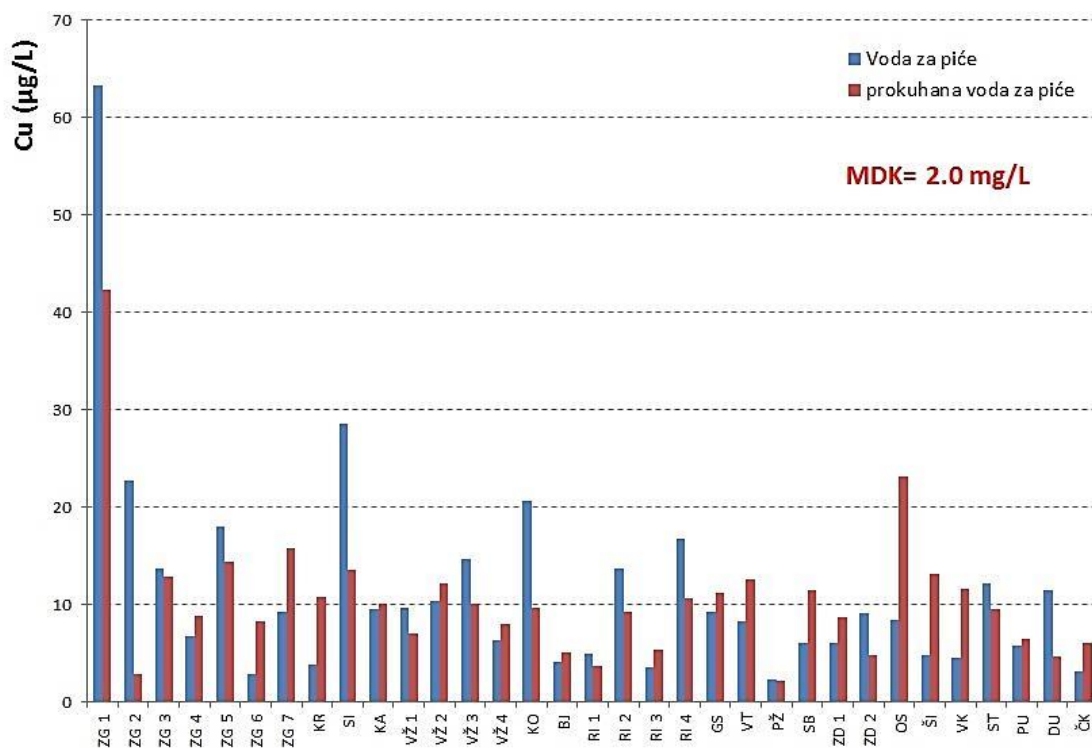
Rezultati analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju na bakar uzorkovane iz vodoopskrbnih sustava dvadeset županijskih središta u RH i gradu Zagrebu dana je u **Tablici 16**. Na osnovu ove tablice objasnili smo ponašanje bakra u našim uzorcima (Minnesota Department of Health, 2013).

Tablica 16 Rezultati analize uzoraka vode na bakar prije i nakon termičke obrade

Vodoopskrbni sustav	Kratica	Cu sirova (µg/L)	Cu obrađena (µg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	63,3	42,3
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	22,7	2,8
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	13,7	12,8
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	6,7	8,8
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	18	14,4
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	2,8	8,2
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	9,3	15,8
Krapina	KR	3,8	10,7
Sisak	SI	28,5	13,5
Karlovac	KA	9,5	10
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	9,7	7
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	10,4	12,2
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	14,7	10
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	6,3	8
Koprivnica	KO	20,6	9,6
Bjelovar	BJ	4,1	5,1
Rijeka 1(Rab)	RI 1	4,9	3,7
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	13,7	9,3
Rijeka 3	RI 3	3,6	5,3
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	16,8	10,6
Gospić	GS	9,3	11,2
Virovitica	VT	8,2	12,6
Požega	PŽ	2,3	2,1
Slavonski Brod	SB	6,1	11,4
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	6	8,7
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	9,1	4,8
Osijek	OS	8,4	23,1
Šibenik	ŠI	4,8	13,1
Vinkovci	VK	4,5	11,6
Split	ST	12,1	9,5
Pula	PU	5,8	6,4

Dubrovnik	DU	11,5	4,6
Čakovec	ČK	3,1	6
Srednja vrijednost		11,3	10,5

Očekivani rast koncentracije bakra nakon termičke obrade zabilježen je u 18 vodoopskrbnih sustava, dok smanjenje koncentracije imamo u 15 vodoopskrbnih sustava. Kod povećanja koncentracije izdvaja se vodoopskrbni sustav Zagreb-Utrine (ZG 6) sa rastom od 192,86%. U sirovoj vodi određena koncentracija bila je 2,8 µg/L, a ista je nakon termičke obrade narasla 8,2 µg/L. 87,76% manja koncentracija bakra nakon termičke obrade, ujedno i najveće smanjenje, zabilježeno je u vodoopskrbnom sustavu Zagreb-Zvijezda (ZG 2). MDK za bakar, prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju, iznosi 2000 µg/L. Ni u jednom vodoopskrbnom sustavu ova vrijednost nije prekoračena.



Slika 14 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za bakar

4.13. SELEN

Selen ne možemo ukloniti iz vode termičkom obradom na 100 °C. Kako će na ovoj temperaturi voda isparavati, a količine selena se neće mijenjati, u konačnoj otopini imati ćemo istu količinu selena u manjem volumenu vode i prividan rast koncentracije selena.

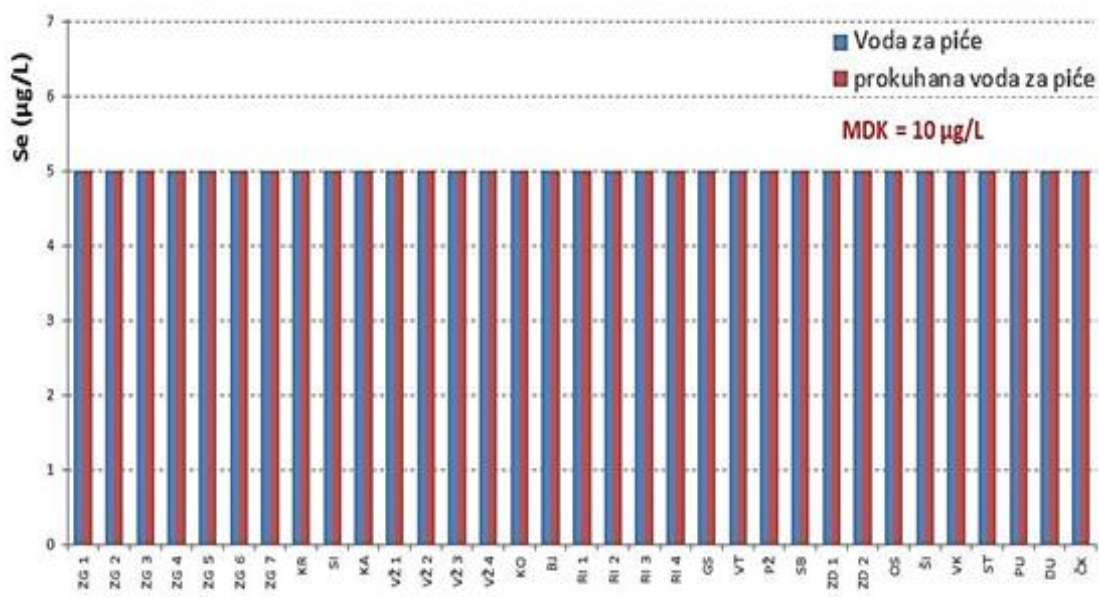
Ponašanje koncentracije selena u našim uzorcima prikazan je u **Tablici 17**.

Tablica 17 Rezultati analize uzoraka vode na selen prije i nakon termičke obrade

Vodopostrobn sustav	Kratica	Se sirova (µg/L)	Se obrađena (µg/L)
ZAGREB 1 (SAMOBOR)	ZG 1	5	5
Zagreb 2 (Zvijezda)	ZG 2	5	5
Zagreb 3 (Trešnjevka)	ZG 3	5	5
Zagreb 4 (Jarun)	ZG 4	5	5
Zagreb 5 (Sesvete)	ZG 5	5	5
Zagreb 6 (Utrine)	ZG 6	5	5
Zagreb 7 (Bukovac)	ZG 7	5	5
Krapina	KR	5	5
Sisak	SI	5	5
Karlovac	KA	5	5
Varaždin 1 (Motičnjak)	VŽ 1	5	5
Varaždin 2 (Ivanec)	VŽ 2	5	5
Varaždin 3 (laboratorij)	VŽ 3	5	5
Varaždin 4 (Bartolovec)	VŽ 4	5	5
Koprivnica	KO	5	5
Bjelovar	BJ	5	5
Rijeka 1(Rab)	RI 1	5	5
Rijeka 2(Crikvenica)	RI 2	5	5
Rijeka 3	RI 3	5	5
Rijeka 4 (Ičići)	RI 4	5	5
Gospić	GS	5	5
Virovitica	VT	5	5
Požega	PŽ	5	5
Slavonski Brod	SB	5	5
Zadar 1 (Borik)	ZD 1	5	5
Zadar 2(Kolovare)	ZD 2	5	5
Osijek	OS	5	5
Šibenik	ŠI	5	5
Vinkovci	VK	5	5
Split	ST	5	5
Pula	PU	5	5
Dubrovnik	DU	5	5

Čakovec	ČK	5	5
Srednja vrijednost		5	5

Kao što je vidljivo iz **Tablice 17** koncentracija selena nije se mijenjala ni u jednom vodoopskrbnom sustavu nakon provedbe termičke obrade. Grafički prikaz rezultata kao i MDK za selen vidljiv je na **Slici 15**.



Slika 15 Grafički prikaz rezultata analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za selen

5. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Većina analiziranih kemijskih parametara nakon termičke obrade nije imala vrijednosti u skladu s podacima koji se navode u literaturi, odnosno nije došlo do očekivanog povećanja ili smanjenja pojedinog kemijskog parametra.
2. Utjecaj termičke obrade na kakvoću vode za ljudsku potrošnju određivan je na uzorcima voda iz svakog od županijskih središta koje nisu otopina jednog elementa nego smjesa brojnih komponenti.
3. Prilikom termičke obrade uzoraka vode sustav nije bio izoliran pri čemu na brzinu isparavanja vode utječe temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, tlak i brojni drugi parametri, a time i na konačni volumen vode i konačne koncentracije promatranih kemijskih parametara.
4. Vodoopskrbni sustavi središta Dubrovnik (DU) i Karlovac (KA) imaju najveći broj odstupanja, u čak 11 komponenti od 15 koje su praćene.
5. Vodoopskrbni sustavi središta Slavonski Brod (SB) i Čakovec (ČK) imaju najmanji broj odstupanja, u 5 komponenti.
6. MDK prekoračene su nakon termičke obrade uzoraka vode i to u slučaju fosfata u uzorcima vode iz vodoopskrbnog sustava grada Osijeka (OS).

6. LITERATURA

1. Fawell J, Bailey K, Chilton J, Dahi E, Fewtrell L, Magara Y, WHO, World Health Organization: *Fluoride in Drinking-water*. TJ International (Ltd), United Kingdom (UK), 2006.
2. MZ, Ministarstvo Zdravlja RH: *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju*. Narodne novine 56/13, 2013.
3. Cerjan Stefanović Š: *Ionska kromatografija u analizi vode*, 2005.
http://www.crolab.hr/index.php?id_0=klubovi&ID=11&id_2=20&id_5=157
(02.08.2015.)
4. Borojević Šoštarić S: *Instrumentalne analitičke metode*, 2010.
<http://rudar.rgn.hr/~sborosos/IAM/IAM1.pdf> (02.08.2015.)
5. HS, Hrvatski Sabor: *Zakon o vodi za ljudsku potrošnju*. Narodne novine 56/13, 2013.
6. EV, Vijeće Europske Unije: *Direktiva vijeća 98/83/EZ*. Službeni list Europske Unije, 1998. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:31998L0083>
(07.08.2015)
7. EV, Vijeće Europske Unije: *Direktiva vijeća 2013/51/EURATOM*. Službeni list Europske Unije, 2013. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32013L0051>
(07.08.2015)
8. Pintara A, Levec J: *Hardness and Salt Effects on Catalytic Hydrogenation of Aqueous Nitrate Solutions*. Journal of Catalysis, 1998.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021951797919606> (20.09.2015)
9. Minnesota Department of Health: *Sulfate In Well Water*. 2014.
<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/wells/waterquality/sulfate.html>
(14.09.2015.)
10. Government of Saskatchewan: *Chloride*. 2010. <http://www.saskh20.ca/PDF-WaterCommittee/chloride.pdf> (14.09.2015.)
11. Scherer T: *Drinking Water Quality: Testing and Interpreting Your Results*. North Dakota State University. 2015.
<https://www.ag.ndsu.edu/pubs/h2oqual/watsys/wq1341.pdf> (14.09.2015.)
12. Health Canada: *Guidance on Potassium from Water Softeners*. 2008. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/potassium/index-eng.php> (15.09.2015.)
13. Sengupta P: *Potential Health Impacts of Hard Water*. International Journal of Preventive Medicine. 2013.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3775162/> (16.09.2015.)
14. *Iron & Manganese in Groundwater*. 2007.
<http://www.rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID2284atID3808.pdf> (16.09.2015.)
15. Government of Saskatchewan: *Zinc*. 2010. <http://www.saskh20.ca/PDF-WaterCommittee/Zinc.pdf> (16.09.2015.)
16. American Water Works Association: *Water Quality & Treatment*. McGraw-Hill, Inc., United States (US), 1999.
17. Kukučka Đ. M, Kukučka M. N: *Fizičko-hemijski sastav svetskih prirodnih voda*. Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2013.

18. HAH, Hrvatska Agencija za Hranu: *Utjecaj kakvoće vode za ljudsku potrošnju na nutritivnu vrijednost dojenačkih mliječnih pripravaka*. 2015.
19. Department of Health Western Australia: *Sodium in Drinking Water*. 2012.
<http://www.public.health.wa.gov.au/cproot/4188/2/SodiumInDrinkingWater.pdf>
(16.09.2015.)
20. Minnesota Department of Health: *Copper in Drinking Water: Health Effects and How to Reduce Exposure*. 2013.
<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/copper.html>
(17.09.2015)

7. PRILOZI

Prilog 1 Optiči medij (CD) sa cjelovitom verzijom rada